

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh řešení uložení rotoru radiálního ventilátoru plynočistírny z
pohledu provozní spolehlivosti

Proposal for the Solution of a Radial Fan Rotor Mounting in the Gas
Cleaning Station from the Prospective of Operational

Student: Miloš Jurczek

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Blata, Ph.D.

Datum odevzdání: 14.5.2018

Zadání bakalářské práce

Student: **Miloš Jurczek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: **Návrh řešení uložení rotoru radiálního ventilátoru plynočistírny z
pohledu provozní spolehlivosti**
**Proposal for the Solution of a Radial Fan Rotor Mounting in the Gas
Cleaning Station from the Prospective of Operational Reliability**
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Poruchy strojních zařízení jsou velmi často zapříčiněny poškozením ložisek, proto je třeba věnovat patřičnou pozornost jejich návrhu a současně sledovat jejich technický stav a včas odhalit vznikající poškození. Zabývejte se proto metodami pro sledování technického stavu ventilátoru plynočistírny a současně se zabývejte jeho uložení z pohledu provozní spolehlivosti.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte konkrétní provozní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1.vydání, 408s., ISBN 80-7300-157-6

KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4

BLATA, J. – Juraszek, J. *Metody technické diagnostiky, teorie a praxe. Metody diagnostyki technicznej, teoria i praktyka*. Ostrava: REPRONIS, s.r.o., 2013, 133 stran, ISBN 978-80-248-2997-5

Podkladové materiály firem - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ČSN ISO 10 816 *Vibrace-Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech*. Praha: Český normalizační institut, 1998.

FS_SME_05_003 verze: G *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce*.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě
14.5. 2018

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na mou diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo;
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě archivována v Ústřední knihovně VŠB-TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že bibliografické údaje o diplomové (bakalářské) práci budou zveřejněny v informačním systému VŠBTUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo, diplomovou (bakalářskou) práci, nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 14.5.2018

.....
Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Miloš Jurczek
Adresa trvalého pobytu autora práce: Kanská 551, Třinec

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

JURCZEK M. *Návrh řešení uložení rotoru radiálního ventilátoru plynočistírny z pohledu provozní spolehlivosti: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2018, 49 s. Vedoucí práce: Ing. Jan Blata, Ph.D.

Bakalářská práce si klade za úkol navrhnout optimální a spolehlivé řešení uložení rotoru ventilátoru plynočistírny z pohledu provozní spolehlivosti a současně posoudit případně stanovit metody pro sledování technického stavu výše uvedeného zařízení pro včasné odhalení vznikajícího poškození uložení ventilátoru. Stávající zařízení plynočistírny je nedílnou součástí konvertoru, bez kterého není možno zařízení provozovat, kde v nynější době jsou na dvou stejných zařízeních konvertorů nainstalovány dva ventilátory s různým řešením uložení. Optimalizované řešení uložení rotoru ventilátoru zajistí vyšší provozní spolehlivost zařízení a dále sjednotí postupy diagnostických i údržbářských činností.

Klíčová slova: plynočistírna, uložení, poškození, ventilátor, zařízení.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

JURCZEK M. *Proposal for the Solution of a Radial Fan Rotor Mounting in the Gas Cleaning Station from the Prospective of Operational Reliability: Bachelor Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2018, 49 p. The head of the thesis: Ing. Jan Blata, Ph.D.

The bachelor thesis proposes an optimal and reliable solution for storing the rotor of the gas cleaning station fan in terms of operational reliability and, at the same time, assesses or determines methods for monitoring of the technical condition of the above mentioned device for early detection of damage to the storage the fan. The existing gas cleaning station device is an integral part of the converter, without which it is not possible to operate the device, since there are two fans with different storage solutions currently installed on two identical converter devices. Optimized solution of rotor fan storage will provide greater operational reliability of the device and will further integrate diagnostics and maintenance procedures.

Key words: gas cleaning station, storage, damage, fan, device.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svému vedoucímu práce Ing. Janu Blatovi, Ph.D. a Ing. Davidovi Šeděnkovi za vedení, vstřícný přístup a věcné rady, které mi pomohly při tvorbě bakalářské práce.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk.....	9
1. Úvod.....	11
2. Ventilátor a jeho technické provedení	12
2.1. Popis technického provedení posuzovaných ventilátorů	12
2.2. Základní technické parametry.....	13
2.3. Kategorizace ventilátoru K1 i K2 dle ČSN EN ISO 13349.....	14
2.4. Porovnání konstrukčního provedení včetně diagnostického vybavení	17
2.5. Detailní popis uložení ventilátorů.....	19
2.5.1. Uložení ventilátoru K1	20
2.5.2. Uložení ventilátoru K2	21
3. Ideový technický návrh uložení rotoru ventilátorů	23
4. Metody pro sledování technického stavu zařízení	26
4.1. Stávající aplikované metody pro sledování technického stavu	26
4.1.1. Diagnostické metody použité u uložení ventilátoru K1	27
4.1.2. Diagnostické metody použité u uložení ventilátoru K2	28
4.2. Dodatečně zavedené diagnostické metody uložení ventilátorů	29
4.3. Ověřovací rozborů odebraných olejů z uložení ventilátoru K2	30
4.3.1. Popis provedených rozborů vzorků oleje z uložení ventilátoru K2	31
4.3.2. Porovnání výsledků rozborů vzorků oleje z uložení ventilátoru K2	34
5. Stanovení minimální životnosti ložisek včetně porovnání	36
5.1. Rozměry a parametry uváděné výrobcem	38
5.2. Porovnání životnosti jednotlivých uložení rotoru ventilátoru	38
5.2.1. Výhody a nevýhody kluzných a valivých ložisek.....	38
5.2.2. Výsledné zhodnocení životnosti kluzných a valivých ložisek	39
6. Zhodnocení postupů pro výměnu jednotlivých ložisek	40
6.1. Postup pro výměnu kluzných ložisek	40
6.2. Postup pro výměnu valivých ložisek	40
6.3. Vyhodnocení jednotlivých výměn	41
7. Porovnání aktuálních stavů jednotlivých uložení	43
7.1. Posouzení aktuálního stavu kluzného uložení ventilátoru K1	43
7.2. Posouzení aktuálního stavu valivého uložení ventilátoru K2	43
7.3. Zhodnocení a porovnání aktuálních stavů	46
8. Závěr	47
9. Použitá literatura	48
10. Seznam příloh	49

Seznam použitých symbolů a zkratek

W	Měrná dopravní práce	[kJ·kg ⁻¹]
p	Tlak	[kPa]
ρ	Hustota plynu	[kg·m ⁻³]
T	Teplota	[°C]
E	Měrná energie	[Nm·kg ⁻¹]
N	Otáčky	[ot·min. ⁻¹]
P	Výkon	[kW]
Q	Objemový průtok	[m ³ ·s ⁻¹] [l·min. ⁻¹]
l	Délka	[mm]
\varnothing	Průměr oběžného kola	[mm]
t	Čas	[s]
f	Frekvence	[Hz]
m	Hmotnost	[kg]
V	Objem	[L]
v	Rychlost vibrací	[mm·s ⁻¹]
ν_k	Kinematická viskozita	[mm ² ·s ⁻¹]
c	Konstanta viskozimetru	[-]
τ	Průměr doby průtoku viskozimetru	[s]
TAN	Číslo kyselosti	[mgKOH·g ⁻¹]
S_v	Obsah vody	[hm.%]
S_p	Obsah prvku	[ppm]
L_{10}	Základní trvanlivost	[10 ⁶ ·ot.]
L_{10h}	Základní trvanlivost dle SKF	[h.]
C_r	Základní radiální dynamická únosnost	[N]
P_r	Ekvivalent dynamického radiálního zatížení	[N]
F_a	Axiální složka skutečného zatížení ložiska	[N]
F_r	Radiální složka skutečného zatížení ložiska	[N]
LD	Kyslíkový konvertor dmýchaný horní tryskou (Linz-Donavitz)	
VŠB	Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava	
TŽ, a.s.	Třinecké železářny, a.s.	
K1	Konvertor č.1	
K2	Konvertor č.2	
ED-XRF	Univerzální energodisperzní rentgenový spektrometr	

AES	Atomová emisní spektrofotometrie
HFD	Vysokofrekvenční detekce
ENV	Obálka zrychlení
RD	Pravotočivý ventilátor

1. Úvod

Ventilátor plynočistírny je nepostradatelnou součástí technologie výroby tekuté oceli v konvertoru, bez kterého není možné toto zařízení provozovat. Zajišťuje plynulé odsávání spalin vznikajících během zkujňování surového železa v konvertoru a jejich následné zpracování technologií plynočistírny mokrého typu, kde dochází ke zchlazení a odprášení konvertorových plynů. Vysoká teplota jímaných plynů (až 1800 °C) se využívá k výrobě páry prostřednictvím přenosu tepla teplosměnnými plochami dýmníku do vody. Následně je konvertorový plyn upraven přímým vstřikováním vody ve vlastním odprašovací zařízení. Teplota plynu na výstupu se pohybuje okolo 65 °C. Zchlazený a vyčištěný konvertorový plyn je v závislosti na jeho chemickém složení následně spalován na svíčke komínu, nebo jímán do plynojemu konvertorového plynu a dále pak využíván ve výrobním procesu celého hutního závodu (podmínka jímání obsah CO nad 25 % a kyslíku pod 2 %).

Plynočistírna jako celek kyslíkové konvertorové ocelárny je jednou z klíčových částí výrobního procesu celé ocelárny. Tento proces je jak časově, tak i logisticky velmi provázaný a jakékoliv neplánované omezení velmi nepříznivě ovlivní efektivitu a plynulost výroby celého provozu. Proto je zapotřebí minimalizovat a předcházet možným neočekávaným omezením výroby tekuté oceli v konvertoru, kde jedním z nejdůležitějších uzlů je ventilátor plynočistírny.

V nynější době jsou na dvou stejných zařízeních plynočistírny kyslíkových konvertorů nainstalovány dva vysokotlaké radiální ventilátory s rozdílným řešením uložení rotoru což v rámci diagnostických i údržbářských činností není optimální.

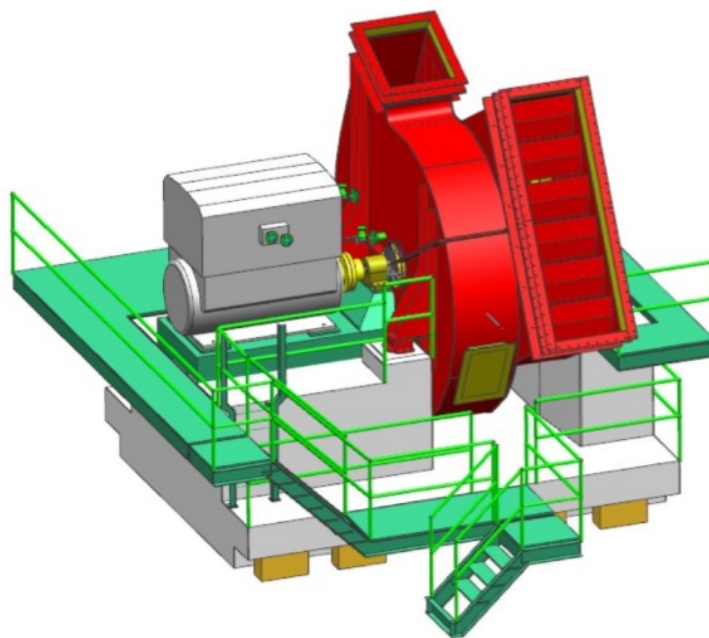
2. Ventilátor a jeho technické provedení

„Ventilátor je rotační lopatkový stroj, který je poháněn mechanickou energií a využívá ji prostřednictvím jednoho nebo více oběžných kol vybavených lopatkami k udržení plynulého průtoku vzduchu nebo jiného plynu, který jím protéká a jehož dopravní práce běžně nepřesáhne hodnotu $25 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. [4]“

Za ventilátor je brán stroj, jehož dopravní tlak nepřesáhne 30 kPa při střední hustotě $1,2 \text{ kg/m}^3$, tlakovém poměru do hodnoty 1,3 a atmosférického tlaku 100 kPa.

2.1. Popis technického provedení posuzovaných ventilátorů

Jedná se o jednostranně sací vysokotlaké radiální ventilátory (exhaustory), které jsou součástí technologie mokré plynočistírny kyslíkových konvertorů typu LD o jmenovité kapacitě 180 tun. Konvertory jsou označeny K1 a K2, toto značení je následně používáno i v rámci rozlišení plynočistíren i jejich částí např. „ventilátor K1“. Ventilátory K1 i K2 jsou stejného konstrukčního provedení včetně pohonu vyjma rozdílného typu uložení rotoru, a to u K1 kluzné a u K2 valivé viz detailní popis v kapitole 2.5.



Obr. 1 Radiální ventilátor plynočistírny K2 [13]

2.2. Základní technické parametry

Tab. 1 Základní složení konvertorového plynu

Popis	Hodnota	Jednotky
CO	57	%
CO ₂	19	%
N ₂	22	%
H ₂	2	%

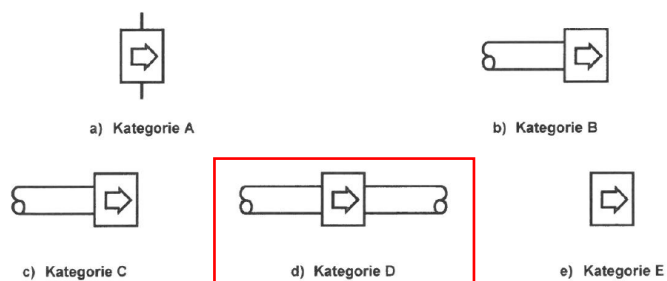
Tab. 2 Základní parametry posuzovaných ventilátorů

Popis	Hodnota	Jednotky
Průměr rotoru	3000	mm
Šířka rotoru	410	mm
Počet lopatek	10	ks
Měrná hmotnost na sání ventilátoru	0,84	kg·m ⁻³
Měrná energie	29 753	Nm·kg ⁻¹
Otáčky ventilátoru	600 - 1 490	ot·min ⁻¹
Maximální požadovaný výkon na hřídeli	2 138	kW
Výkon motoru	2 400	kW
Množství oplachové vody	15	m ³ ·h ⁻¹
Provozní průtok vlhkých spalin za normálních podmínek	50 000 - 130 000	Nm ³ ·h ⁻¹
Objemový průtok	71,2	m ³ ·s ⁻¹
Provozní teplota plynu na sání	65-75	°C
Provozní tlak na sání	-15 až -22	kPa
Provozní tlak na výtlaku	0,5 až 4	kPa
Celkový nárůst tlaku	25	kPa

2.3. Kategorizace ventilátoru K1 i K2 dle ČSN EN ISO 13349

Vysokotlaký jednostranně sací radiální ventilátor s pohonem přes spojku v nevýbušném provedení pro odsávání vlhkých spalin.

Typ instalace: Kategorie D se sáním z potrubí a výtlakem do potrubí (obr. 2)



Obr. 2 Typ instalace [4]

Typ ventilátoru podle funkce: Potrubní
 Typ ventilátoru podle směru proudění: Radiální
 Vhodnost dle tlaku: Vysokotlaký, kategorie H/9 dle tab. 2

Tab. 2 Kategorie ventilátoru podle dopravního tlaku [4]

Popis ventilátoru	Označení	„Maximální“ dopravní tlak ventilátoru (pro standardní vzduch) kPa	Kategorie
Nízkotlaké	L	> 0 and ≤ 0,7	0
		> 0,7 and ≤ 1	1
		> 1 and ≤ 1,6	2
		> 1,6 and ≤ 2,0	3
Středotlaké	M	> 2,0 and ≤ 3,6	4
		> 3,6 and ≤ 6,3	5
		> 6,3 and ≤ 10	6
Vysokotlaké	H	> 10 and ≤ 16	7
		> 16,0 and ≤ 22,4	8
		> 22,4 and ≤ 30	9

Konstrukce opláštění: Kategorie 3. dle tab. 3.

Tab. 3 Kategorie podle konstrukce opláštění [4]

Kategorie	Typické rysy opláštění	Použití	Tloušťka pláště
1	Lemovaná, bodově svařovaná nebo šroubovaná konstrukce. Podpěrné nebo rámové připevnění.	– Lehká vzduchotechnika čistý vzduch	$< 0,0025 D$
2	Lemovaná, švově svařovaná nebo spojitě svařovaná konstrukce. Polouniversální konstrukce se sešroubovanými bočnicemi.	– Těžká vzduchotechnika – Lehký průmysl – Jemný prach nebo vlhkost	$> 0,0025 D$
3	Plně svařovaná pevná konstrukce.	– Těžký průmysl – Špinavý vzduch obsahující vlhkost a/nebo pevné částice, nebo – Vysoké tlaky, nebo – Vysoké výkony	$> 0,00333 D$
POZNÁMKA D je jmenovitý průměr oběžného kola v milimetrech.			

Teplotní kategorie: Vzduchotěsný ventilátor, Kategorie G dle tab. 4.

Tab. 4 Kategorie podle konstrukce opláštění [4]

Kategorie netěsnosti	Maximální zkušební tlak kPa	Doba při maximálním tlaku min	Přípustné kritérium/ maximální poměrná netěsnost
A	0,5	15	$0,027 \times p^{0,65}$
B	1	15	$0,009 \times p^{0,65}$
C	2	15	$0,003 \times p^{0,65}$
D	2,5	15	$0,001 \times p^{0,65}$
E	2,5	15	$0,0005 \times p^{0,65}$
F	3	60	$p < 500 \text{ Pa}$
G	10,5	15	nezjistitelné netěsnosti
H1	1,5	60	$p < 150 \text{ Pa}$
H2	1,5	60	$p < 15 \text{ Pa}$
POZNÁMKY 1 Poměrné netěsnosti pro kategorie A,B,C,D a E jsou v litrech za sekundu na čtvereční metr smáčené plochy pláště a p je zkušební tlak v Pa. 2 Těsnost je definována jako tlaková ztráta v kategoriích F, H1 a H2. Zvlášť když se měří tlakové ztráty pro kategorie netěsnosti H1 nebo H2, musí být při měření věnována pozornost změnám teploty plynů v opláštění, nebo okolnímu tlaku, protože mohou výrazně kazit výsledek měření.			

Uspořádání pohonu: Souosé spojení, uspořádání č.7 dle tab. 5.

Tab. 5 Uspořádání pohonu pro radiální ventilátory [4]

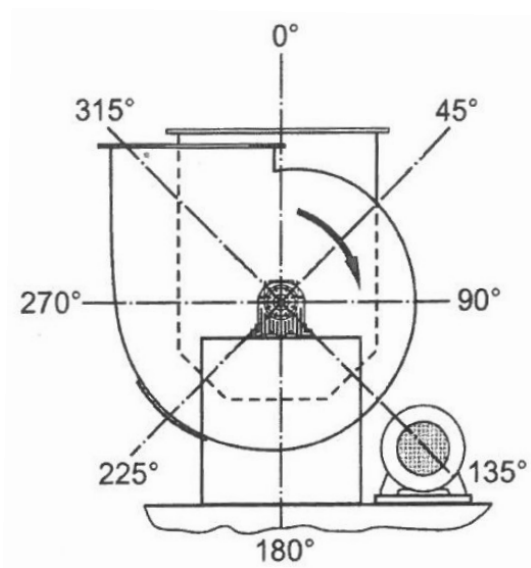
Uspořádání č.	Popis	Poloha motoru (viz obrázek 22)	Nákres
1	Jednostranně sací ventilátor s řemenovým pohonem. Oběžné kolo zavěšené na hřídeli ve dvou ložiskách podepřených podstavcem.	—	
2	Jednostranně sací ventilátor s řemenovým pohonem. Oběžné kolo zavěšené na hřídeli v ložiskách podepřených konzolí, která je připojena ke skříni ventilátoru.	—	
3	Jednostranně sací ventilátor s řemenovým pohonem. Oběžné kolo namontované na hřídeli v ložiskách na obou stranách opláštění, podepřených skříní ventilátoru.	—	
4	Jednostranně sací ventilátor s přímým pohonem. Oběžné kolo zavěšené na hřídeli motoru. Ventilátor bez ložisek. Motor je upevněn na základ ventilátoru.	—	
5	Jednostranně sací ventilátor s přímým pohonem. Oběžné kolo zavěšené na hřídeli motoru. Ventilátor bez ložisek. Motor je připojen k jedné straně opláštění přes koncovou přírubu.	—	
6	Oboustranně sací ventilátor s řemenovým pohonem. Oběžné kolo namontované na hřídeli v ložiskách na obou stranách opláštění, podepřených skříní ventilátoru.	—	
7	Jednostranně sací ventilátor s pohonem přes spojku. V podstatě jako uspořádání 3, ale se základem pro motor.	—	
8	Jednostranně sací ventilátor s pohonem přes spojku. V podstatě jako uspořádání 1 plus rozšířený základ pro motor.	—	
9	Jednostranně sací ventilátor s řemenovým pohonem. V podstatě jako uspořádání 1 ale s motorem namontovaným mimo podstavec ložisek.	W or Z	

Vstupní/ výstupní podmínky: S pro radiální jednostranně sací ventilátory dle tab. 6.

Tab. 6 Sací/výtlačné příslušenství ventilátorů [4]

Označení	Popis	Náčrt		
		Axiální ventilátory	Radiální ventilátory s jednostranným sáním	Radiální ventilátory s oboustranným sáním
U	Ventilátor se sáním a výtlačkem na hranici skříně ventilátoru.			
E	Ventilátor s kuželovým nebo trychtýřovitým sáním a výtlačkem těsně za oběžným kolem.			
D	Ventilátor s difusorem na výtlačku a sáním těsně před oběžným kolem.			
ED	Ventilátor s kuželovým nebo trychtýřovitým sáním a difusorem na výtlačku.			
B	Ventilátor s obloukem na sání a výtlačkem těsně za oběžným kolem.			
BD	Ventilátor s obloukem na sání a difusorem na výtlačku.			
S	Ventilátor s postranním sacím boxem a výtlačkem těsně za oběžným kolem.			
SD	Ventilátor s postranním sacím boxem a difusorem na výtlačku.			

Metoda regulace ventilátoru:	elektromotorem s měničem
Součásti (obr. 3):	Výtlač RD 0
	Sací box RD315
	Revizní dvířka RD135

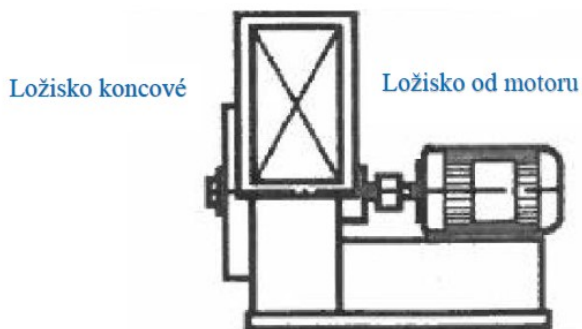


Obr. 3 Sací/výtlačné příslušenství ventilátorů [4]

Poloha motoru: v řadě

2.4. Porovnání konstrukčního provedení včetně diagnostického vybavení

Pro objektivní posouzení a zhodnocení obou typů uložení rotoru je zapotřebí se ujistit, zda je stávající zařízení obou konvertorů totožné jak konstrukčním provedením, výkonovými parametry tak i instrumentací diagnostických přístrojů a stanovených limitů pro provozování (teplota, vibrace) apod.



Obr. 4 Značení polohy ložiska rotoru [4]

Tab. 7 Porovnání posuzovaných ventilátorů

Popis	Ventilátor K1 kluzné uložení	Ventilátor K2 valivé uložení
Rozměry rotoru	ø3000 x 410 mm, 10 lopatek	ø3000 x 410 mm, 10 lopatek
Směr otáčení	po směru hod. ručiček	po směru hod. ručiček
Médium	konvertorový plyn	konvertorový plyn
Rok výroby	2017	2015
Druh montáže	Na vibrační základ	Na vibrační základ
Druh řízení	regulace otáček měničem	regulace otáček měničem
Druh spojky	pružná Rupex RWN500	pružná Rupex RWN500
Kompenzátor sání/výtlač	Frenzelit - sání 3334x1213 - výtlač 1281x1142	Frenzelit - sání 3334x1213 - výtlač 1281x1142
Hladinový spínač	FTL50-BGQ2AA4G5A	FTL50-BGQ2AA4G5A
Hnací motor	Siemens 1RN6-504-4HZ60-Z	Siemens 1RN6-504-4HZ60-Z
Ucpávka hřídele s regulátorem tlaku	koncové -WDKS135-50ND od motoru-WDKS280-50ND	koncové -WDKS135-50ND od motoru-WDKS280-50ND
Měření otáček	snímač NCN8-18GM40-N0- V1	snímač NCN8-18GM40-N0- V1
Vstupní klapka s pohonem	HMT/Auma 8 klappek, 973x3154mm	HMT/Auma 8 klappek, 973x3154mm
Tlumič vibrací	E-64631-03 a 04	E-64631-03 a 04
Druh ložisek	kluzné ložisko	soudečkové ložisko
Typ ložiska od motoru	ZRZLA 18-160	GOF 230 CBF
Typ ložiska koncové	ZRZLQ 11-100	GOF 218 CAL
Druh mazání	olejem – mazací jednotkou	olejem v olejové lázni
Mazací jednotka	Baier/Koppel, 160 l	-
Druh maziva	olej ISO VG 68	olej ISO VG 100
Interval výměny oleje	Každých 2000 hodin	Každých 2000 hodin
Teploměr	G 1/2“, 0-120°C, Typ B	G 1/2“, 0-120°C, Typ B
Odporový teploměr	PT 100 se snímačem TH300	PT 100 se snímačem TH300
Měření vibrací	ventilátor - Hauber typ 663 motor – Hauber typ 640	ventilátor - Hauber typ 663 motor – Hauber typ 640

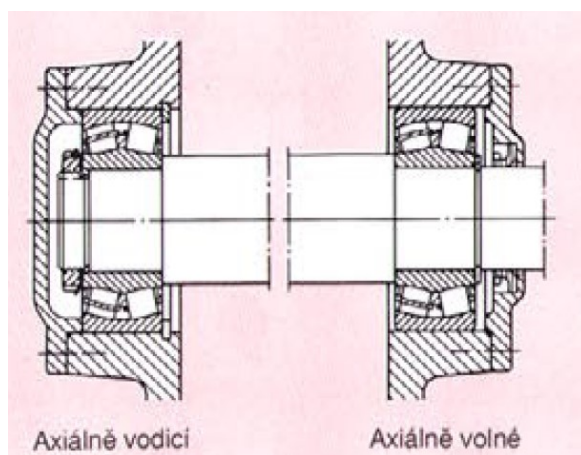
Tab. 8 Porovnání provozních limitů posuzovaných ventilátorů

Popis	Ventilátor K1 kluzné uložení	Ventilátor K2 valivé uložení
Žádaná hodnota otáček-alarm [$\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$]	1495	1495
Žádaná hodnota otáček-odpojení [$\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$]	1500	1500
Vibrace – alarm [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$] (prodleva: 10 s)	7,1	7,1
Vibrace – alarm [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$] (prodleva: 1 s)	11	11
Teplota ložisek – alarm [$^{\circ}\text{C}$]	85	95
Teplota ložisek – odpojení [$^{\circ}\text{C}$]	95	105

Z výše uvedených tabulek (tab. 7, tab. 8) vyplývá, že stávající zařízení obou konvertorů je totožné konstrukčním provedením, výkonovými parametry tak i instrumentací diagnostických přístrojů a stanovených limitů pro provozování (teplota, vibrace) apod. vyjma typu ložisek uložení rotorů ventilátoru včetně jejich limitních hodnot. Tyto rozdílné skutečnosti jsou v tabulkách zvýrazněny tučně.

2.5. Detailní popis uložení ventilátorů

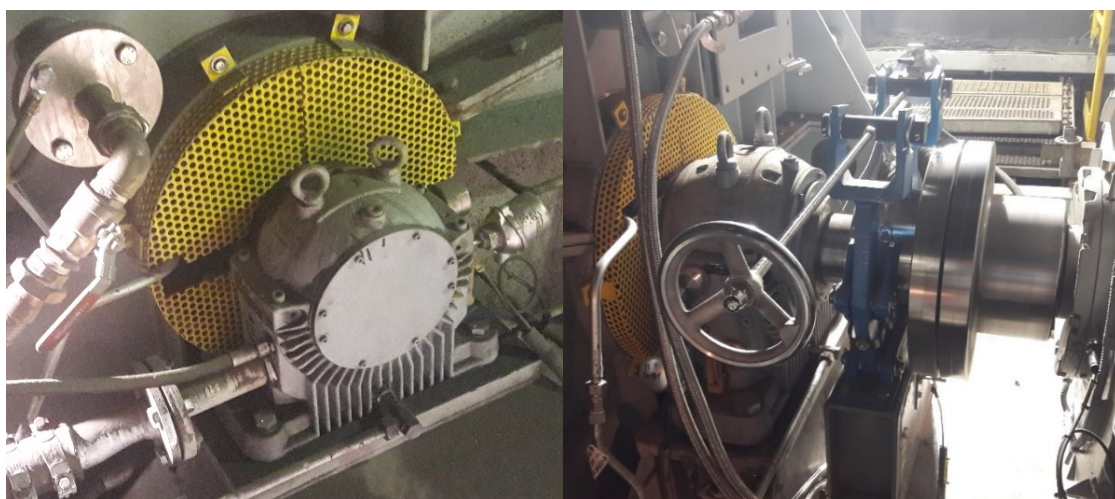
Hřídel rotoru ventilátoru je na obou koncích oběžného kola uložena v ložiscích na dvou samostatných základech. Ložiska jsou v provedení axiálně vodící pevné (koncové) a axiálně volné (od motoru) (obr. 5), a to z důvodu eliminace vlivu montážních odchylek a tepelné roztažnosti jednotlivých částí ventilátoru. Ložisko axiálně vodící (koncové) je osazeno na konci hnací hřídele a ložisko axiálně volné (od motoru) ze strany od elektropohonu (obr. 5).



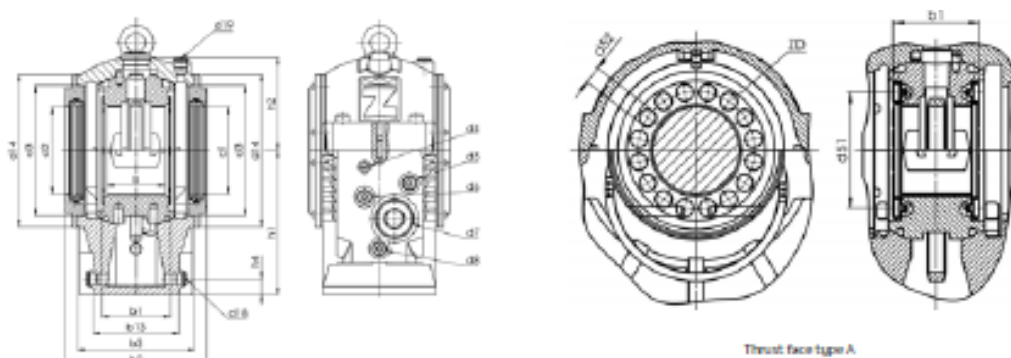
Obr.5 Zobrazení skutečného uspořádání ložisek [5]

2.5.1. Uložení ventilátoru K1

Jedná se o kluzné horizontálně dělená ložiska, výrobce Zolern, typové označení ložiska od motoru ZRZLA 18-160 a koncové ZRZLQ 11-100. Ložiskové pánve jsou uloženy v kulové misce uvnitř ložiskových těles. Mazání ložisek je zajištěno mazací jednotkou a následně pomocí volného mazacího kroužku, který přenáší olej z tělesa ložiska do ložiskové pánve. Pro vizuální kontrolu hladiny oleje v tělese ložisek je osazen olejznak s vyznačenými mezními hladinami.



Obr.6 Uložení ventilátoru K1



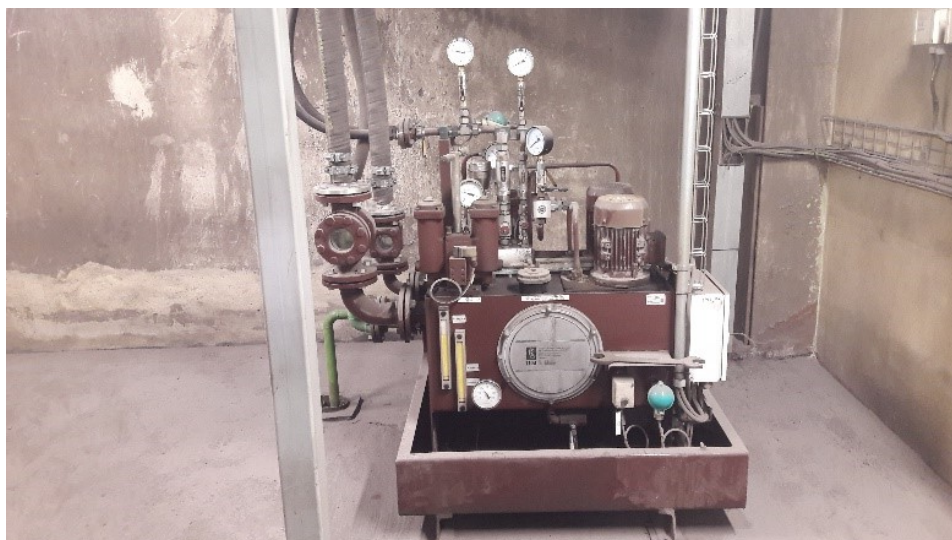
Obr.7 Ložiskové těleso Zolern typ ZR [6]

Mezní hodnoty vůlí mezi ložiskovou pávní a hřídelí předepsané výrobcem ložiska pro nutnou výměnu:

- | | |
|--|---------------------|
| - ložisková pánev axiálně volného ložiska | 318 μm |
| - ložisková pánev axiálně vodícího ložiska | 210 μm . |

Parametry mazací jednotky:

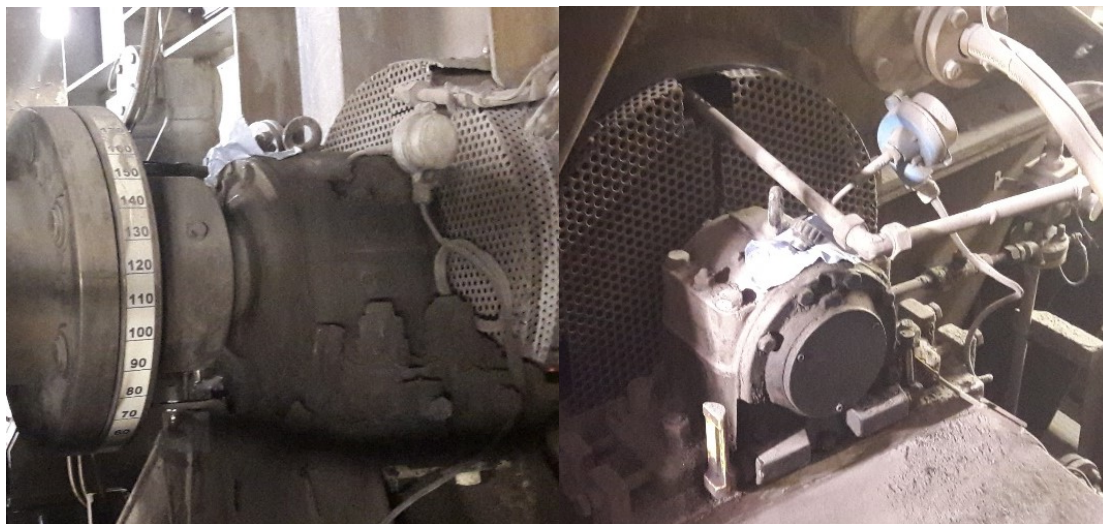
- | | |
|---------------------------------------|------------|
| - Maximální tlak mazací jednotky | 0,4 MPa |
| - průtok oleje-axiálně volné ložisko | 17 L/min. |
| - průtok oleje-axiálně vodící ložisko | 2,2 L/min. |



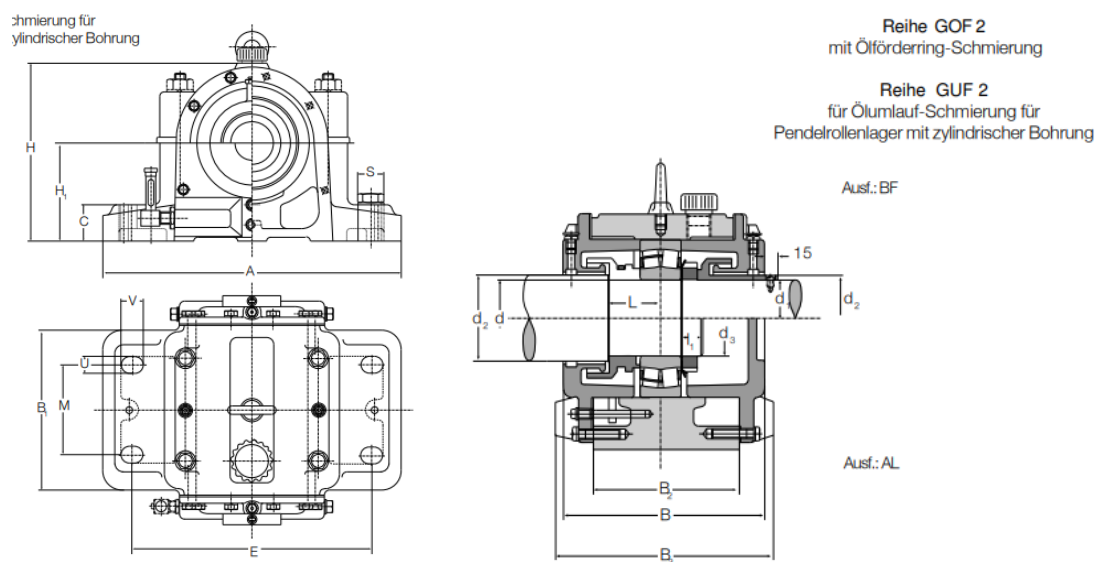
Obr.8 Mazací jednotka ventilátoru K1

2.5.2. Uložení ventilátoru K2

Jedná se o valivá ložiska osazená v ložiskových tělesech, výrobce HFB, typové označení tělesa ložiska od motoru GOF 230 CBF a koncové GOF 218 CAL. V těchto tělesech jsou osazeny dvouřadá soudečková ložiska s válcovou dírou od výrobce NTN a to od motoru typ 22230 EAW33C3 a koncové typ 22218 EAW33C3. Mazání ložisek je zajištěno pomocí volného mazacího kroužku, který přenáší olej z tělesa ložiska. Pro vizuální kontrolu hladiny oleje v tělese ložisek je osazen olejovník s vyznačenými mezními hladinami.



Obr.9 Uložení ventilátoru K2



Obr.10 Ložiskové těleso HFB typ GOF [7]

Olejoyé náplně ložiskových těles:

- axiálně volné ložisko 4 L
- axiálně vodící ložisko 1,3 L

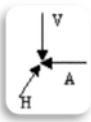
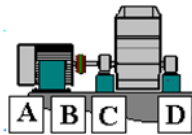
3. Ideový technický návrh uložení rotoru ventilátorů

Ventilátor plynočistírny konvertoru zajišťuje plynulé odsávání vzniklých spalin při foukání kyslíkovou tryskou do vsázky konvertoru. Toto zařízení je nedílnou součástí plynočistírny, která svou konstrukcí zajišťuje čištění plynu. Na posuzované kyslíkokonvertorové ocelárně byly v roce 2015 a 2017 zcela obnoveny zařízení plynočistírny obou konvertorů zahraničním dodavatelem. Tento dodavatel pro zařízení plynočistírny konvertoru K2 v roce 2015 navrhl a dodal radiální ventilátor s valivým uložením rotoru o průměru oběžného kola $\varnothing 3000$ mm a šířce 410 mm.

Po uvedení tohoto zařízení do provozu a nastavení optimálních parametrů pro funkčnost mokré plynočistírny se jevílo celé zařízení jako hlučné vně i uvnitř haly a dále byly zjištěny vibrace ventilátorové skříně, výtlačného potrubí i ocelové konstrukce výškové části haly KKO. Toto bylo potvrzeno následně provedeným měřením chvění a stavu ložisek (tab. 9 a tab. 10).

Tab. 9 Výsledné hodnoty měření chvění ventilátoru č.2. dne 3.12.2015 [8]

***Pozn** - v tabulce je uváděna hodnota stavu ložiska **HFD**. Tuto hodnotu je třeba posuzovat na každém stroji individuálně. Na její velikost má kromě samotného stavu ložiska vliv také stav **mazání tzn.** tloušťka mazacího filmu na oběžných drahách. Nezanedbatelný vliv mají rovněž provozní otáčky. Pro takováto měření soustrojí se průměrná hodnota pohybuje v rozmezí **0,02 až 0,9**

	Frekvenční rozsah měření chvění: 2 – 1000 Hz																
	Akcelerometr: CMSS 2200																
	Měřeno v mm/s – efektivní rychlost chvění																
	Schválený interval měření - 1 měsíc																
	Měřicí přístroj: Microlog GX - vibrace hodnota HFD - stav ložisek																
KKO		A				B				C				D			
Exhaustor K 2	datum	HFD	hor	vert	ax	HFD	hor	vert	ax	HFD	hor	vert	ax	HFD	hor	vert	ax
1374 rpm	2.12.15	0.15	3.5	1.3	1.6	0.16	4.7	2.1	1.1	0.04	2.4	1.2	2.8	0.03	3.8	1.7	1.9

Tab. 10 Naměřené hodnoty chvění na ventilátorové skříně a výtlačném potrubí ventilátoru č.2. dne 3.12.2015, otáčky ventilátoru [$ot \cdot min^{-1}$], rychlost vibrací [$mm \cdot s^{-1}$] [8].

Otáčky ventilátoru	Ventilátorová skříň		Výtlačné potrubí 5.patro		Výtlačné potrubí 6.patro		Potrubí dusíku
	str.Borek	str.Třinec	str.Borek	str.Třinec	vertikální	str.Třinec	
750	1,7	5,3	-	-	-	-	1,1
1070	14,7	10,5	-	-	-	-	-
1150	9,1	9,1	7,2	5,2	2,6	1,4	4,6
1250	43,2	40,9	-	-	-	-	2,3
1320	28,3	20,1	-	-	1,6	1,8	3,2
1375	18,0	19,4	12,8	9,5	1,8	1,8	3,0

V návaznosti na tyto zjištěné skutečnosti byly provedené jednotlivé kroky k eliminování těchto jevů a to:

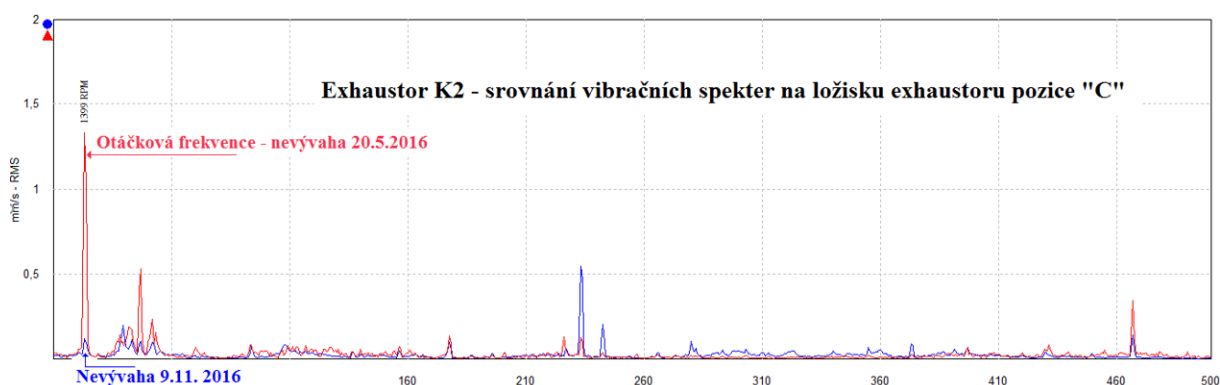
- zvýšením tuhosti skříně ventilátoru přidáním výztuh
- úpravou odvodnění skříně rotoru a výtlačného potrubí
- úpravou oplachu oběžného kola ventilátoru
- výměnou značně opotřebovaných malých radiálních lopatek na obvodu rotoru.

Následné měření vibrací přenášených z ventilátoru plynočistírny na ocelové konstrukce a další technické uzly potvrdilo výrazný pokles sumárních vibrací (tab. 11).

Tab. 11 Naměřené hodnoty vibrací přenášených na OK plynočistírny a ventilátoru K2 dne 9.11.2016 [9]

Popis místa	Otáčky ventilátoru							
	1250 ot/min				1320 ot/min			
	vibrace - mm/s		změna	dominantní frekvence Hz	vibrace - mm/s		změna	dominantní frekvence Hz
	16.05.16	09.11.16			16.05.16	09.11.16		
skříň ventilátoru - str.Borek	3,7	3,2	-12%	BPF - 208,4 Hz	8,0	2,6	-68%	BPF - 220 Hz
skříň ventilátoru - str. Č-T	10,5	5,3	-50%	BPF - 208,4 Hz	14,5	3,8	-75%	BPF - 220 Hz
podlaha před vstupem do místnosti ventilátoru	0,4	0,1	-69%		0,3	0,2	-48%	
výtlačné potrubí - 1,5m nad podlahou	5,3	2,1	-61%		3,9	2,5	-34%	BPF - 220 Hz
výtlačné potrubí za kolenem	5,9	4,1	-30%	BPF - 208,4 Hz	5,4	3,3	-38%	BPF - 220 Hz
potrubí na vstupu do trojcestného ventilu	12,5	2,1	-83%	BPF - 208,4 Hz	2,9	3,2	10%	BPF - 220 Hz
potrubí komína - 1,5m nad podlahou	7,9	0,5	-94%		1,3	0,9	-28%	BPF - 220 Hz
podlaha u komína	3,1	0,4	-87%		0,7	0,5	-37%	BPF - 220 Hz

Současně bylo provedeno měření a porovnání vibrací uložení ventilátoru K2 (obr. 11), kde se projevila jen otáčková frekvence způsobená minimálním nevyvážením rotoru.



Obr.11 Srovnání spekter na ložisku „C“ [9]

V rámci posuzování jednotlivých možných aspektů způsobujících nežádoucí výše uvedené jevy, vyvstala i otázka, jestli tuto skutečnost neovlivňuje valivé uložení rotoru, které bylo navrženo dodavatelem oproti kluznému uložení původních ventilátorů. Hlavní dodavatel technologie i výrobce ventilátoru tuto domněnku nepotvrdili ani nevyvrátili, a proto bylo realizačním týmem rozhodnuto, že v rámci obnovy plynočistírny konvertoru K1 v roce 2017 bude požadováno kluzné uložení rotoru ventilátoru včetně potřebného příslušenství. Toto rozhodnutí vyvstalo na základě posouzení dřívějších bezproblémových provozních i údržbářských zkušeností na původním zařízení plynočistírny.

Z výše uvedených důvodů vyvstal podnět pro posouzení a návrh optimálního a spolehlivého řešení uložení rotoru ventilátorů plynočistíren z pohledu provozní spolehlivosti a současně posoudit případně stanovit metody pro sledování technického stavu výše uvedeného zařízení pro včasné odhalení vznikajícího poškození uložení ventilátoru. Optimalizované řešení uložení rotoru ventilátorů zajistí vyšší provozní spolehlivost zařízení a dále sjednotí postupy diagnostických i údržbářských činností včetně náhradních dílů.



Obr.12 Kluzné uložení ventilátoru K1 po obnově

4. Metody pro sledování technického stavu zařízení

Monitorování a technická diagnostika aktuálního stavu a provozních jevů zařízení je jednou z nejdůležitějších činností pro včasné odhalení možných poruchových stavů a zajištění optimální prediktivní údržby.

Mezi základní metody technické diagnostiky patří:

- Vibrodiagnostika
- Tribodiagnostika
- Termodiagnostika
- Akustická diagnostika
- Elektrodiagnostika

4.1. Stávající aplikované metody pro sledování technického stavu

V nynější době je zařízení plynočistiřny včetně ventilátoru a jeho příslušenství sledováno a diagnostikováno různými metodami, které jsou následovně používány pro provozování plynočistiřny a dále zajišťují monitorování aktuálních provozních stavů zařízení v rámci údržby zařízení. Tyto hodnoty jsou dále analyzovány a trendovány v PC aplikacích včetně jejich historických vývoji.



Obr.13 Obrazovka operátora zobrazující aktuální hodnoty ventilátoru K1

4.1.1. Diagnostické metody použité u uložení ventilátoru K1



Na kluzném uložení ventilátoru K1 jsou nepřetržitě měřeny a trendovány:

- vibrace na tělese obou ložisek snímačem vibrací Hauber typ 663 s těmito provozními limity:
 - vibrace – alarm $7,1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ (prodleva: 10 s)
 - vibrace – odpojení $11 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ (prodleva: 1 s)
- teplota obou ložisek odporovým teploměrem PT 100 se snímačem TH300, který je osazen v tělese ložiska s těmito provozními limity:
 - teplota ložiska – alarm $85 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - teplota ložiska – odpojení $95 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- průtok oleje obou ložisek (Ano-Ne)

Parametry mazací jednotky

- Minimální výstupní tlak 0,25 MPa
- Minimální průtok oleje axiálně volné ložisko 14,5 L/min.
- Minimální průtok oleje axiálně vodící ložisko 1,35 L/min.
- Minimální teplota oleje $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Maximální teplota oleje $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Ložisková tělesa jsou dále osazena olejoznakem a místním teploměrem, mazací jednotka manometry na vstupním potrubí do ložiskových těles. V intervalu jedenkrát za měsíc je provedeno měření chvění ventilátoru s vyhodnocením výsledných hodnot (obr. 14).

			<p>Frekvenční rozsah měření chvění: 10 – 1000 Hz Akcelerometr: CMSS 2200 Schválený interval měření - 1 měsíc Měřeno v mm/s – efektivní rychlost chvění Měřicí přístroj: Microlog GX - vibrace HFD - stav ložisek</p>															
EXHAUSTORY			A				B				C				D			
	datum	otáčky	HFD	hor	ver	ax	HFD	hor	ver	ax	HFD	hor	ver	ax	HFD	hor	ver	ax
č. 1	15. 11. 17	1320	0,16	1,1	0,7	1,2	0,18	0,8	0,6	0,8	-	1,0	0,5	1,2	-	0,9	0,6	1,3
	11. 12. 17	1370	0,30	2,4	1,8	2,5	0,11	2,4	1,4	1,9	-	3,1	1,2	3,4	-	1,3	1,2	3,4
	8. 1. 18	1150	0,27	1,2	0,7	0,9	0,19	1,1	0,8	0,6	-	0,7	0,5	0,8	-	1,0	0,5	1,0
	9. 2. 18	1320	0,25	1,5	0,7	1,1	0,15	1,1	0,6	0,8	-	0,8	0,6	1,3	-	1,4	0,6	1,3
	15. 3. 18	1300	0,30	3,1	1,3	1,5	0,10	2,2	1,3	1,1	-	2,3	1,5	3,9	-	2,9	0,7	2,6

Obr.14 Naměřené hodnoty vibrací ventilátoru K1 [14]

V rámci plánovaných kampaňových a středních oprav konvertoru (2x ročně) jsou měřeny vůle mezi ložiskovou pávní a hřídelí dle postupu stanoveného výrobcem ložiska s těmito mezními vůlemi pro nutnou výměnu:

- ložisková pánev axiálně volného ložiska 318 μm
- ložisková pánev axiálně vodícího ložiska 210 μm .


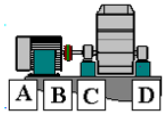
4.1.2. Diagnostické metody použité u uložení ventilátoru K2

Na valivém uložení ventilátoru K2 jsou nepřetržitě měřeny a trendovány:

- vibrace na tělese obou ložisek snímačem vibrací Hauber typ 663 s těmito provozními limity:
 - vibrace – alarm 7,1 $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ (prodleva: 10 s)
 - vibrace – odpojení 11 $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ (prodleva: 1 s)
- teplota obou ložisek odporovým teploměrem PT 100 se snímačem TH300, který je osazen v tělese ložiska s těmito provozními limity:
 - teplota ložiska – alarm 95 $^{\circ}\text{C}$
 - teplota ložiska – odpojení 105 $^{\circ}\text{C}$

Ložisková tělesa jsou dále osazena olejovými značkami a místním teploměrem.

V intervalu jedenkrát za měsíc je provedeno měření chvění ventilátoru s vyhodnocením výsledných hodnot (obr. 15).

		<p>Frekvenční rozsah měření chvění: 10 – 1000 Hz Akcelerometr: CMSS 2200 Schválený interval měření - 1 měsíc Měřeno v mm/s – efektivní rychlost chvění Měřicí přístroj: Microlog GX - vibrace HFD - stav ložisek</p>																	
EXHAUSTORY			A				B				C				D				
	datum	otáčky	HFD	hor	ver	ax	HFD	hor	ver	ax	HFD	hor	ver	ax	HFD	hor	ver	ax	
č. 1	15. 11. 17	1320	0,16	1,1	0,7	1,2	0,18	0,8	0,6	0,8	-	1,0	0,5	1,2	-	0,9	0,6	1,3	
	11. 12. 17	1370	0,30	2,4	1,8	2,5	0,11	2,4	1,4	1,9	-	3,1	1,2	3,4	-	1,3	1,2	3,4	
	8. 1. 18	1150	0,27	1,2	0,7	0,9	0,19	1,1	0,8	0,6	-	0,7	0,5	0,8	-	1,0	0,5	1,0	
	9. 2. 18	1320	0,25	1,5	0,7	1,1	0,15	1,1	0,6	0,8	-	0,8	0,6	1,3	-	1,4	0,6	1,3	
	15. 3. 18	1300	0,30	3,1	1,3	1,5	0,10	2,2	1,3	1,1	-	2,3	1,5	3,9	-	2,9	0,7	2,6	
č. 2	17. 7. 17	1100	0,25	1,4	1,1	1,1	0,26	0,8	0,8	1,0	0,08	1,5	0,8	1,9	0,07	1,1	0,7	1,0	
	14. 9. 17	1320	0,17	1,3	0,9	1,1	0,52	1,4	1,2	1,2	0,10	2,1	0,7	1,8	0,05	1,1	1,0	1,8	
	4. 10. 17	1125	0,17	1,9	1,0	0,9	0,48	1,2	1,4	1,2	0,04	1,8	1,1	2,8	0,03	1,5	1,0	1,9	
	15. 11. 17	1150	0,17	1,2	0,8	0,8	0,39	0,8	1,1	0,6	0,04	0,6	0,5	1,4	0,06	1,2	0,6	0,6	
	11. 12. 17	1100	0,16	1,2	0,9	1,3	0,32	1,2	0,6	0,8	0,09	1,2	0,6	1,5	0,02	1,4	0,7	0,9	
	8. 1. 18	850	0,10	1,0	0,6	0,8	0,16	0,8	0,5	0,7	0,05	0,8	0,5	1,0	0,04	0,9	0,7	0,7	
	9. 2. 18	1300	0,21	0,8	0,7	1,3	0,22	0,9	0,6	1,0	0,08	1,1	1,1	2,8	0,03	1,8	1,0	1,5	
	15. 3. 18	1350	0,12	4,4	1,5	1,8	0,17	5,3	1,8	1,6	0,04	4,2	1,2	2,8	0,06	5,3	3,7	3,2	

Obr.15 Naměřené hodnoty vibrací ventilátoru K2 [14]

4.2. Dodatečně zavedené diagnostické metody uložení ventilátorů

V rámci detailního prověřování aktuálně používaných diagnostických metod byl prvotně proveden dne 3.11.2017 rozbor vzorků oleje v obou valivých ložiscích ventilátoru K2 pracovníky Tribodiagnostiky TŽ, a.s. Z provedených rozborů vyplynul zvýšený kód znečištění a to 21/19/14 dle ISO 4406/99 u obou ložisek a dále zvýšené množství obsahu železa a to 68,9 ppm u ložiska od motoru a 45,6 ppm u koncového ložiska. V návaznosti na toto zjištění byla provedena výměna obou olejových náplní valivých ložisek a zavedení plánovaného měsíčního intervalu pro provádění rozborů olejů výše uvedeného uložení včetně jejich následných vyhodnocení (tab. 12).

Tab.12 Výsledné hodnoty jednotlivých rozborů olejů ložisek ventilátoru K2 [15]

Ložisko koncové ventilátor K2		3.11.2017	15.12.2017	23.1.2018	20.3.2018
Parametr	Jednotka	Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota
Kinematická viskozita při 40°C	mm ² /s	96,6	95,6	94,2	95,8
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	0,51	0,63	0,46	0,57
Obsah vody	hm. %	0,01	0,01	0,01	0,03
Kód čistoty	-	21/19/14	22/21/17	22/21/17	
obsah Fe	ppm	45,6	23	42,7	66
obsah Cu	ppm	0,8	0,8	0,1	0,2
obsah P	ppm	281	224	236	235
obsah Zn	ppm	388	370	378	402
obsah Ca	ppm	55	55	56	69
Ložisko od motoru ventilátor K2		3.11.2017	15.12.2017	23.1.2018	20.3.2018
Parametr	Jednotka	Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota
Kinematická viskozita při 40°C	mm ² /s	99,5	96,5	97,7	95,4
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	0,61	0,56	0,46	0,57
Obsah vody	hm. %	0,01	0,01	0,01	0,01
Kód čistoty	-	21/19/14	21/19/14	22/19/15	22/20/15
obsah Fe	ppm	68,9	15,9	18	25,1
obsah Cu	ppm	1,9	1,9	0,1	0,2
obsah P	ppm	276	233	264	274
obsah Zn	ppm	360	339	362	378
obsah Ca	ppm	54	49	48	54

Žlutě zvýrazněné hodnoty jsou uváděny jako zvýšené. Chybějící hodnota kódu čistoty u vzorku z koncového ložiska ze dne 20.3.2018 nebyla stanovena z důvodu lehké kontaminace oleje vodou. Výsledné vyhodnocení jednotlivých zjištěných hodnot dle měsíčního intervalu ovlivnilo doplnění olejových náplní u obou ložisek a to dne 10.1.2018 (cca 0,4L-koncové ložisko, 2L-ložisko od motoru).

Z výše uvedených výsledků vyplývá vzrůstající tendence hodnoty kódu čistoty a dále vyšší obsah železa u obou ložisek což nasvědčuje možné opotřebení ložisek. V návaznosti na tyto zjištění bude pokračováno v provádění rozborů olejových náplní v tělesech ložisek v měsíčním intervalu a v nejbližší možné odstavce provedení revize ložisek.

Následně byly provedeny rozborů vzorků oleje ze společné mazací jednotky pro oba kluzné uložení ventilátoru K1 s vyhovujícím výsledkem bez nutného opatření. Výsledné rozdílné hodnoty kódu čistoty (tab. 13) s opačným vývojem byly způsobeny doplněním 5 litrů oleje do mazací jednotky dne 19.3.2018.

Tab. 13 Výsledné hodnoty jednotlivých rozborů olejů mazací jednotky ventilátoru K1 [16]

Mazací jednotka ventilátoru K1		21.02.2018	21.3.2018
Parametr	Jednotka	Hodnota	Hodnota
Kinematická viskozita při 40°C	mm ² /s	67,3	67,3
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	0,49	0,5
Obsah vody	hm. %	0,01	0,01
Kód čistoty	ISO 4406/1999	18/17/15	17/15/12
Nečistoty > 4µm	ks	2 375	745
Nečistoty > 6 µm	ks	1 282	291
Nečistoty > 14 µm	ks	209	35

4.3. Ověřovací rozborů odebraných olejů z uložení ventilátoru K2

Z důvodu ověření správnosti a porovnání jednotlivých metod a postupů stávající diagnostiky olejů jsem provedl za metodického vedení Ing. Jana Blaty, Ph.D. a Ing. Davida Šeděňky v laboratoři technické diagnostiky na katedře výrobních strojů a konstruování VŠB-TU Ostrava rozborů totožných odebraných vzorků z obou ložisek ventilátoru K2 ze dne 15.12.2017 a 23.1.2018. Výsledné hodnoty rozborů jsou uvedeny v příložených protokolech jednotlivých vzorků olejů a zhodnoceny v technické zprávě viz příloha.

4.3.1. Popis provedených rozborů vzorků oleje z uložení ventilátoru K2

- Měření kinematické viskozity ve viskózní lázni JULABO MA při 40 °C za použití viskozimetru typu Ubbelohde. Výsledná viskozita (ν_k) se následně vypočítala ze vztahu:

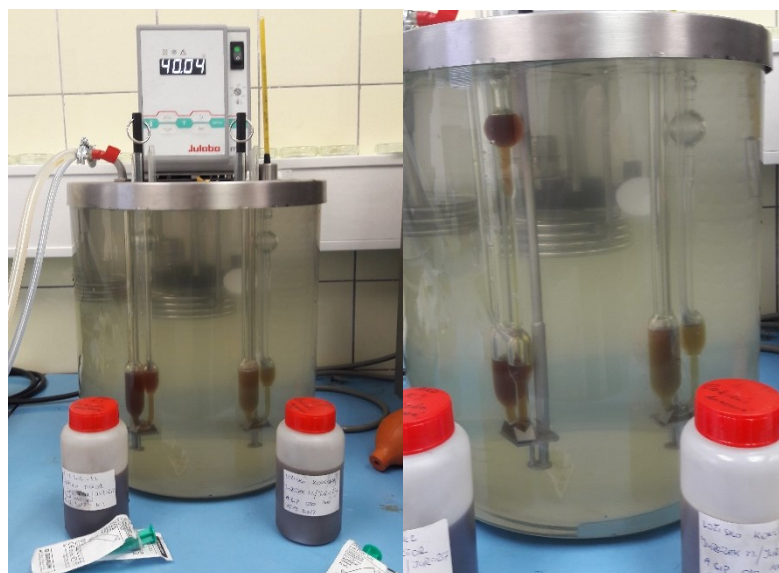
$$\nu_k = c \cdot \tau \quad [\text{mm}^2/\text{s}] \quad (1)$$

c – konstanta viskozimetru uváděná přímo výrobcem (např. 0,2994)

τ – aritmetický průměr doby průtoku viskozimetru.

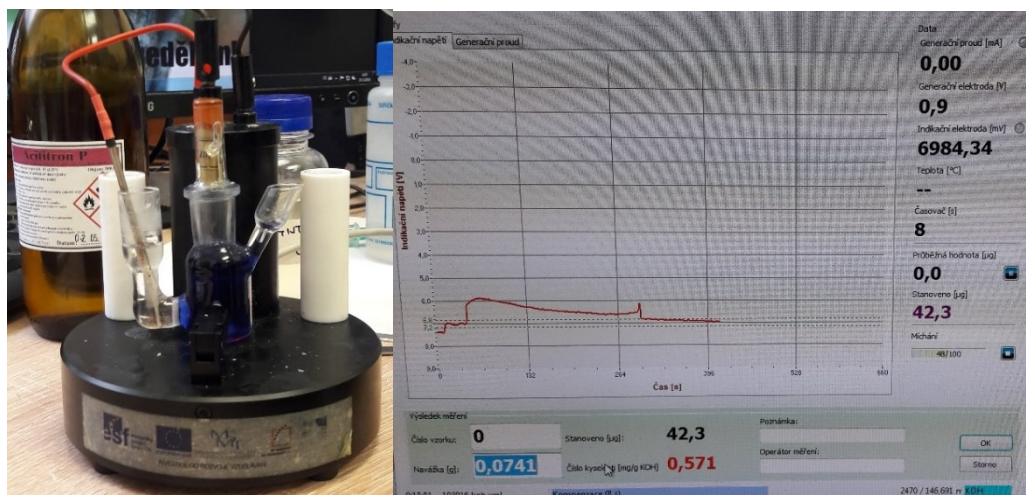
Tab. 14 Výsledné hodnoty kinematické viskozity při 40 °C

Popis	τ [s]	c [-]	Viskozita [mm^2/s]
Ložisko koncové 15.11.2017	313	0,2997	93,81
Ložisko koncové 23.01.2018	309	0,2994	92,51
Ložisko od motoru 15.11.2017	317	0,2994	94,91
Ložisko od motoru 23.01.2018	316	0,2997	94,71



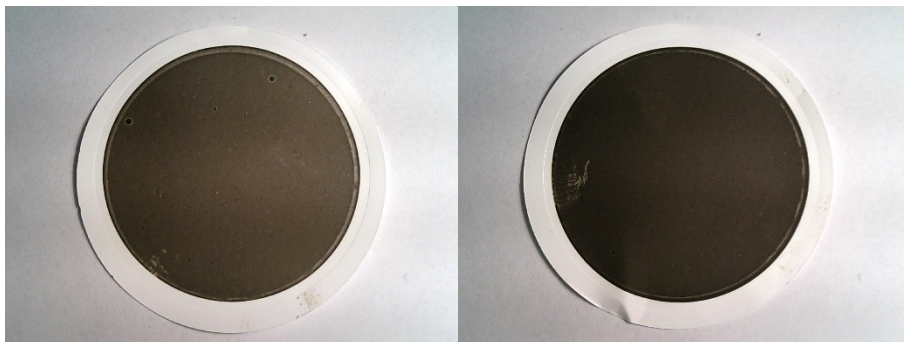
Obr. 16 Měření kinematické viskozity ve viskózní lázni JULABO MA při 40 °C

- Stanovení čísla celkové alkality a kyselosti TAN Coulometrem KOH.

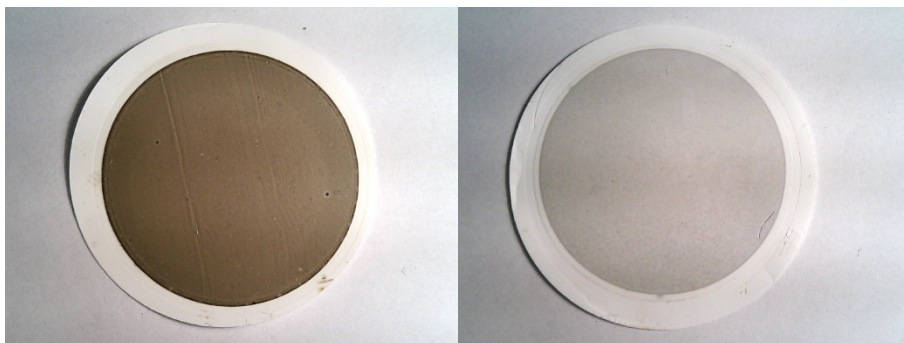


Obr. 17 Měření TAN Coulometrem KOH

- Stanovení kódu čistoty dle ČSN ISO 4406 a NAS 1638 bylo provedeno filtrací vzorku pomocí sestavy filtrační nerezové aparatury s odsávací láhví a membránovou vývěvou s následným stanovením mikroskopických velikostí a počtu částic nečistot.



Obr. 18 Vzorek koncového ložiska 15.12.2017 a 23.1.2018



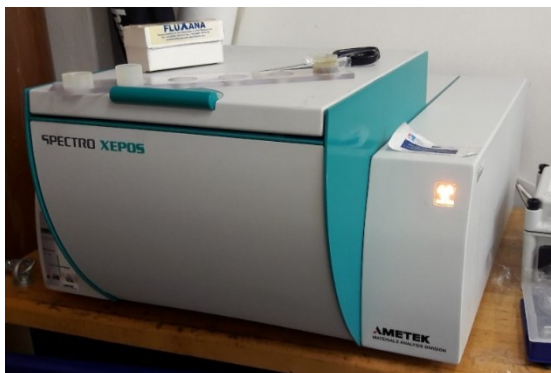
Obr. 19 Vzorek ložiska od motoru 15.12.2017 a 23.1.2018

- Měření koncentrace vody v oleji coulometrickou metodou dle K.Fischera přístrojem Coulometr WTD vztažená na přesnou hmotnost aplikovaného vzorku.



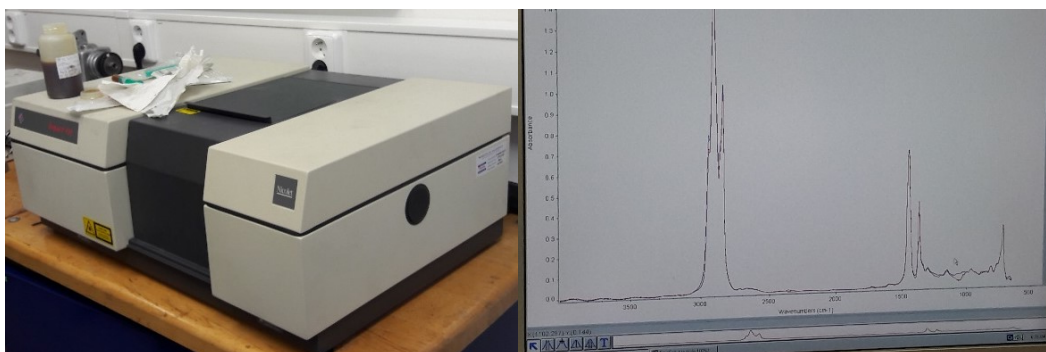
Obr. 20 Měření koncentrace vody Coulometrem WTD

- Prvková analýza ED-XRF univerzálním energodisperzním rentgenovým spektrometrem se zvýšenou citlivostí a rozsahem prvků-SPECTRO XEPOS 3. Pro vyhodnocení a porovnání výsledných hodnot byla následně provedena i prvková analýza nepoužitého vzoru oleje Agip OSO100.



Obr. 21 Prvková analýza přístrojem SPECTRO XEPOS 3

- Spektrální analýza olejů spektrometrem Nicolet-Impact 410. Pro vyhodnocení a porovnání výsledných hodnot byla následně provedena i spektrální analýza nepoužitého vzoru oleje Agip OSO100.



Obr. 22 Spektrální analýza olejů spektrometrem Nicolet-Impact 410

4.3.2. Porovnání výsledků rozborů vzorků oleje z uložení ventilátoru K2

V návaznosti na provedené ověřovací rozborů vzorků olejů v laboratoři technické diagnostiky v rozsahu dle popsaného v kapitole 4.3.1 bylo provedeno porovnání jednotlivých výsledných hodnot měření (tab. 15 a tab. 16). Vyhodnocení stavu jednotlivých ložisek dle níže uvedených výsledků z rozborů vzorků oleje je dále posouzeno v kapitole 7.

Tab. 15 Porovnání výsledků rozborů spojového ložiska ventilátoru K2

		TŽ	TŽ	VŠB	TŽ	VŠB	TŽ
Ložisko koncové ventilátor K2		3.11.2017	15.12.2017	15.12.2017	23.1.2018	23.1.2018	20.3.2018
Parametr kvality	Rozměr	Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	96,6	95,6	93,81	94,2	92,51	95,8
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	0,51	0,63	0,543	0,46	0,553	0,57
Obsah vody	hm. %	0,01	0,01	0,005	0,01	0,005	0,03
Mech. nečistoty	-			12		12	
Kód čistoty	-	21/19/14	22/21/17	21/20/18	22/21/17	22/21/18	
Prvková analýza ED-XRF		Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	45,6	23	53,1	42,7	86,5	66
obsah Cu		0,8	0,8	4,7	0,1	4,2	0,2
obsah Cr				10,4		6,6	
obsah Sn				<3		<3	
obsah Si				16,8		73,3	
Aditiva, degradace		Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)			21050		18010	
obsah P		281	224	647,5	236	549,4	235
obsah Mg				<101		<101	
obsah Mo				<1,0		<1,0	
obsah Zn		388	370	544,5	378	468,9	402
obsah Ca		55	55	146,4	56	181,7	69

Žlutě zvýrazněné hodnoty jsou uváděny jako výstražné, červeně zvýrazněné hodnoty jako překročení maximálních stanovených hodnot.

Tab. 16 Porovnání výsledků rozborů ložiska od motoru ventilátoru K2

		TŽ	TŽ	VŠB	TŽ	VŠB	TŽ
Ložisko motor ventilátor K2		3.11.2017	15.12.2017	15.12.2017	23.1.2018	23.1.2018	20.3.2018
Parametr kvality	Rozměr	Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	99,5	96,5	94,91	97,7	94,71	95,4
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	0,61	0,56	0,515	0,46	0,537	0,57
Obsah vody	hm. %	0,01	0,01	0,007	0,01	0,009	0,01
Mech. nečistoty	-			11		10	
Kód čistoty	-	21/19/14	21/19/14	20/18/15	22/19/15	18/17/15	22/20/15
Prvková analýza ED-XRF		Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	68,9	15,9	18,3	18	19,4	25,1
obsah Cu		1,9	1,9	4,3	0,1	3,9	0,2
obsah Cr				6,9		7,4	
obsah Sn				<3		<3	
obsah Si				<1,0		<1,0	
Aditiva, degradace		Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)			18060		18710	
obsah P		276	233	547,1	264	566,7	274
obsah Mg				<101		<101	
obsah Mo				<1,0		<1,0	
obsah Zn		360	339	438,1	362	442,9	378
obsah Ca		54	49	64,2	48	69,5	54

Z porovnávacích tabulek výsledků rozborů obou ložisek ventilátoru K2 (tab. 15 a tab. 16) vyplývají rozdílné hodnoty mezi jednotlivými hodnotami prvkové analýzy, a to zejména u obsahu železa a mědi. Tyto rozdílné hodnoty jsou způsobeny použitím rozdílné metody prvkové analýzy, a to v TŽ, a.s. byla použita atomová emisní spektrofotometrie (AES) a v laboratoři technické diagnostiky byl použit univerzální energodisperzní rentgenový spektrometr (ED-XRF) se zvýšenou citlivostí a rozsahem prvků SPECTRO XEPOS 3. Dále byly zjištěny rozdílně stanovené maximální limitní hodnoty jednotlivých prvků, které se odvíjí od různé metodiky vyhodnocování a použité literatury.

Stanovení přesných hodnot jednotlivých prvků je důležité, ale pro diagnostiku stavu ložisek a oleje je nejdůležitější sledování gradientu hodnot jednotlivých prvků od stanovené počáteční hodnoty (výměna oleje). Při následném intervalovém provádění rozborů vzorků stejnou metodou spektrální analýzy lze tyto hodnoty analyzovat a určovat gradient jednotlivých opotřebení.

5. Stanovení minimální životnosti ložisek včetně porovnání

Životnost ložiska je jedním ze základních ukazatelů pro stanovení efektivity a posouzení vhodnosti použitého správného uložení rotoru ventilátoru a nastavení intervalu případné výměny. Životnost ložiska je ovlivňováno spousty provozních jevů (provozní podmínky, zatížení, teplota, prostředí, mazání...) a není jednoduché ji přesně stanovit. Mezi základní podmínky pro stanovení životnosti ložiska je dynamické a statické zatížení ložiska. Trvanlivost je standardně uváděna jako počet otáček nebo počet provozních hodin při dané rychlosti otáčení.

Stanovení minimální životnosti jednotlivých uložení rotoru ventilátoru je důležité pro posouzení optimálního uložení. Interval výměn jednotlivých ložisek (valivých nebo kluzných) je z hlediska časové náročnosti pro jejich provedení rozhodující.

Z dostupných historických údržbářských záznamů v období od roku 1997 až do 2015 z doby před obnovou plynočistíren, kde na obou ventilátorech bylo kluzné uložení, byla minimální životnost kluzných pánví 6 let (52 560 provozních hodin). V těchto údržbářských záznamech byly dále evidovány jednotlivé naměřené hodnoty vůlí mezi ložiskovou pánví a hřídelí rotoru ventilátoru.

Minimální životnost valivého uložení dle provozních a údržbářských znalostí na tomto zařízení nejsou momentálně dostupné (provozování cca 2,5 roku bez výměny) a ani na jiných konstrukčně podobných ventilátorech ostatních provozů pracujících při jiných podmínkách (suché odprašky-aglomerace) mi toto nebylo známo. Z těchto výše uvedených důvodů jsem se obrátil na obchodní zástupce výrobců ložisek (SKF, NTN) s požadavkem na poskytnutí informací o minimální trvanlivosti dvouřadých soudečkových ložisek dle aplikovaných typů a velikostí. Výrobci ložisek v dnešní době neudávají minimální životnost daného typu ložiska, jen doporučují postup pro výpočet její trvanlivosti dle ČSN ISO 281 (např. fa SKF), který je závislý na mnoha faktorech.

Rovnice základní trvanlivosti(L_{10}) pro radiální válečková ložiska dle ČSN ISO 281 [10]

$$L_{10} = \left(\frac{C_r}{P_r}\right)^{\frac{10}{3}} \quad [10^6 \cdot \text{ot.}] \quad (2) [10]$$

C_r – základní radiální dynamická únosnost [N]

P_r – ekvivalent dynamického radiálního zatížení [N]

Rovnice základní trvanlivosti (L_{10h}) pro radiální válečková ložiska dle SKF [17]

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot L_{10} \quad [\text{provozní hodiny}] \quad (3) [17]$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C_r}{P_r} \right)^{\frac{10}{3}} \quad [\text{provozní hodiny}] \quad (4) [17]$$

n – otáčky [ot./min.]

C_r – základní radiální dynamická únosnost [N]

P_r – ekvivalent dynamického radiálního zatížení [N]

Pro výpočet těchto výše uvedených vztahů je zapotřebí znát skutečné hodnoty axiálního zatížení ložiska F_a (axiální složka skutečného zatížení ložiska) a radiálního zatížení ložiska F_r (radiální složka skutečného zatížení ložiska), které jsou v tomto případě v návaznosti na provozních podmínkách plynočistírny proměnné.

Z tohoto důvodu použijí pro porovnání dostačující orientační hodnoty trvanlivosti pro různé typy strojů uváděné fa SKF (obr. 23) [17], kde pro stroje s nepřetržitým provozem je doporučená trvanlivost 40 000-50 000 provozních hodin.

Tabulka 8

Orientační hodnoty trvanlivosti pro různé typy strojů	
Typ stroje	Doporučená trvanlivost Provozní hodiny
Zařízení pro domácnost, zemědělské stroje, přístroje, technická zařízení pro lékařské účely	300 ... 3 000
Stroje pro krátkodobý nebo přerušovaný provoz: elektrické ruční nářadí, dílenské kladkostroje, stavební stroje a zařízení	3 000 ... 8 000
Stroje s vysokou provozní spolehlivostí pro krátkodobý nebo přerušovaný provoz: výtahy, jeřáby pro balené zboží nebo svázané sudy, atd.	8 000 ... 12 000
Stroje pro osmihodinový denní provoz, které však nejsou vždy plně využívány: ozubené převody pro všeobecné použití, elektromotory pro průmyslové použití, drtiče	10 000 ... 25 000
Stroje pro osmihodinový denní provoz, které jsou plně využívány: obráběcí stroje, dřevoobráběcí stroje, stroje pro všeobecné strojírenství, jeřáby pro sypké materiály, ventilátory, pásové dopravníky, polygrafická zařízení, separátory a odstředivky	20 000 ... 30 000
Stroje pro nepřetržitý provoz: převodovky válcovacích stolic, středně velké elektromotory, kompresory, důlní výtahy, čerpadla, textilní stroje	40 000 ... 50 000
Vybavení větrných elektráren – hlavní hřídel, otoč, převodovka, ložiska generátoru	30 000 ... 100 000
Vodárenské stroje, rotační pece, slaňovací stroje, převodová ústrojí zaoceánských lodí	60 000 ... 100 000
Velké elektromotory, elektrárenská zařízení, důlní čerpadla, důlní ventilátory, ložiska hlavních hřidel zaoceánských lodí	> 100 000

Obr. 23 Orientační hodnoty trvanlivosti pro různé typy strojů [17]

5.1. Rozměry a parametry uváděné výrobcem

Pro příklad uváděných hodnot výrobcem použijí specifikaci pro soudečkové dvouřadé ložisko koncové od výrobce fa SKF typ 22218 E (22218 EAW33C3 od výrobce fa NTN).

Rozměry a parametry ložiska dle katalogu SKF [17]:

- Vnitřní průměr ložiska (d)	90 mm
- Vnější průměr ložiska (D)	160 mm
- Šířka (B)	40 mm
- Základní dynamická únosnost (C)	331 kN
- Základní statická únosnost (C ₀)	375 kN
- Mezní únavové zatížení (P _u)	39 kN
- Referenční otáčky	3 800 ot/min
- Mezní otáčky	5300 ot/min
- Výpočtový součinitel (e)	0,24
- Výpočtový součinitel (Y ₁)	2,8
- Výpočtový součinitel (Y ₂)	4,2
- Výpočtový součinitel (Y ₃)	2,8
- Hmotnost (m)	3,4 kg

5.2. Porovnání životnosti jednotlivých uložení rotoru ventilátoru

„Valivá a kluzná ložiska“

„Patří mezi nejpoužívanější strojní součásti. Z hlediska plánování a řízení údržby se proto ložiska stávají jedním z nedůležitějších problémů zajištění provozní spolehlivosti strojů a zařízení. [1]“

5.2.1. Výhody a nevýhody kluzných a valivých ložisek

Kluzná ložiska:

- Výhody:
 - Jednoduchá konstrukce
 - Tichý klidný chod
 - Jednoduchá montáž a demontáž

- Nevýhody:
 - Složitost a přesnost výroby ložiska
 - Nutnost mazací jednotky včetně potrubí a příslušenství
 - Nemožnost diagnostiky stavu ložiska (např. HFD...)
 - Nutnost mazání při rozběhu i doběhu
 - Vyšší pořizovací cena

Valivá ložiska:

- Výhody:
 - Menší velikost a hmotnost
 - Menší těleso ložiska
 - Standartní sériová výroba
 - Podstatně menší množství maziva
 - Dostupnost
 - Vhodnost diagnostiky stavu ložiska (např. HFD...)
 - Nižší pořizovací cena
- Nevýhody:
 - Složitější konstrukční provedení
 - Složitá montáž a demontáž
 - Vyšší hlučnost

5.2.2. Výsledné zhodnocení životnosti kluzných a valivých ložisek

Z výše uvedených porovnání nevyplývá podstatný rozdíl mezi minimální životností jednotlivých uložení a to:

- **kluzné uložení** **52 560 provozních hodin**
 (z dostupných historických údržbářských záznamů v období od roku 1997 až do 2015 z doby před obnovou plynočistíren).
- **valivé uložení** **50 000 provozních hodin**
 (orientační hodnoty trvanlivosti pro různé typy strojů uváděné fa SKF (obr. 23) [17]).

6. Zhodnocení postupů pro výměnu jednotlivých ložisek

Časová a technická náročnost pro výměnu jednotlivých typů ložisek je jedním z nejdůležitějších měřítek pro posouzení vhodnosti použitého uložení rotoru v návaznosti na nutné plánované nebo neplánované (porucha) omezení výrobního procesu celé ocelárny. Jakékoliv omezení velmi nepříznivě ovlivní efektivitu a plynulost výroby celého provozu.

6.1. Postup pro výměnu kluzných ložisek

Provedení výměny kluzných ložisek ventilátoru spočívá v demontáži děleného ložiskové tělesa bez nutnosti demontáže velkých celků ventilátoru (rotoru, elektromotoru, sacího a výtlačného potrubí...). Po odstavení zařízení včetně mazací jednotky se provede vypuštění mazacího oleje z ložiskových těles a přípojného mazacího potrubí a následné odstrojení diagnostických prvků (měření teploty a vibrací) včetně propojovacích kabelů. Následně se provede demontáž ložiskových těles pūlením v dělicí rovině ložiska a odlehčení rotoru (např. použitím hydraulické panenky) pro možnost vysunutí spodní části děleného ložiska. Odlehčení rotoru je technicky možné z důvodu existujících dilatačních látkových kompenzátorů na vstupní i výstupní části ventilátoru. Po kontrole technického stavu ložiskového tělesa se provede demontáž stávající ložiskové pánve a její výměna za novou včetně provedení ručního zaškrabování styčné plochy pánve. Následně se provede zpětná montáž děleného ložiska v obráceném pořadí dle demontáže. Po kompletaci se provede kontrolní měření vůle mezi ložiskovou pánví a hřideli dle předepsaného postupu a mezních hodnot stanovených výrobcem ložiska dle kapitoly 2.5.1. Tato zjištěná kontrolní vůle se následně zaeviduje do údržbářských záznamů jako počáteční hodnota pro následné sledování opotřebení ložiskové pánve v návaznosti na další provedené kontrolní měření při plánovaných odstávkách zařízení.

Celková doba potřebná pro provedení kompletní výměny ložiskových pánví je dle údržbářských záznamů z období let 1997-2015 cca 4 hodiny.

6.2. Postup pro výměnu valivých ložisek

Provedení výměny valivých ložisek ventilátoru je podstatně složitější oproti výměně kluzného uložení, a to hlavně z důvodu, že dvouřadé soudečkové ložisko není dělené. To znamená, že je zapotřebí buď ze strany od motoru demontovat spojku a elektromotor nebo

demontovat celý rotor ze skříně ventilátoru. Obě možnosti jsou velmi časově i prostorově náročné, a to i na další potřebné provedení stažení ložisek a jejich odbornou zpětnou montáž. Provedení vypuštění mazacího oleje z ložiskových těles a odstojení diagnostických prvků je rozsahově podobná jak u kluzných ložisek.

Odhad celkové doby potřebná pro provedení kompletní výměny valivých ložisek je dle údržbářských zkušeností při výměnách rotorů minimálně 48 hodin nepřetržitých prací.

6.3. Vyhodnocení jednotlivých výměn

Z výše uvedených postupů dle kapitoly 6.1 a 6.2 vyplývá podstatný rozdíl v rozsahu a minimální době potřebné pro provedení jednotlivých výměn. Tento rozdíl se podstatně projeví v nutnosti navýšení nutných kapacit kvalifikovaných pracovníků pro provedení výměny ložisek a následné navýšení celkové hodnoty opravy. Toto platí za podmínek, když je toto prováděno v plánovaných odstávkách konvertoru, které jsou během roku maximálně 2x ročně s délkou 7 dnů. Pokud se jedná o poruchový stav mimo tyto plánované odstávky a je tedy nutné odstavit konvertor mimo plánovanou odstávku, jedná se o ztrátu v celkové výrobě provozu výroby oceli a ta je průměrně 2 mil. Kč za jednu neprovedenou tavbu (1 tavba = 45 až 60 minut).

Pokud je s předstihem správně diagnostikována abnormalita (poškození) uložení rotoru a je možné za provedení nutných opatření tuto výměnu provést v plánované odstávce vyplývá z pohledu finanční efektivity výhodnější uložení valivé (tab. 17).

Tab. 17 Časové a finanční porovnání jednotlivých výměn v plánované odstávce

Popis	Jednotka	Konvertor K1 kluzné uložení	Konvertor K2 valivé uložení
Celková doba pro výměnu	h	4	48
Celková cena za provedené práce (4/8 pracovníků 320,- Kč/h)	Kč	5 120,-	122 880,-
Celková cena potřebných ND	Kč	481 250,-	74 375,-
Pořizovací hodnota uložení	Kč	2 016 200,-	542 500,-
Celková finanční náročnost	Kč	2 502 570,-	739 755,-

Pokud poškození uložení rotoru nastane neplánovaně z dříve nezjištěných důvodů a není možné tuto výměnu provést v plánované odstávce vyplývá z pohledu časové i finanční efektivity podstatně výhodnější uložení kluzné (tab. 18).

Tab. 18 Časové a finanční porovnání jednotlivých výměn mimo plánovanou odstávku

Popis	Jednotka	Konvertor K1 kluzné uložení	Konvertor K2 valivé uložení
Celková doba pro výměnu	h	4	48
Celková cena za provedené práce (4/8 pracovníků 320,- Kč/h)	Kč	5 120,-	122 880,-
Celková cena potřebných ND	Kč	481 250,-	74 375,-
Finanční ztráta při nevýrobě	Kč	8 000 000,-	96 000 000,-
Pořizovací hodnota uložení	Kč	2 016 200,-	542 500,-
Celková finanční nákladnost	Kč	10 502 570,-	96 739 755,-



Obr. 24 Poškození kluzného ložiska původního uložení rotoru poruchou mazání

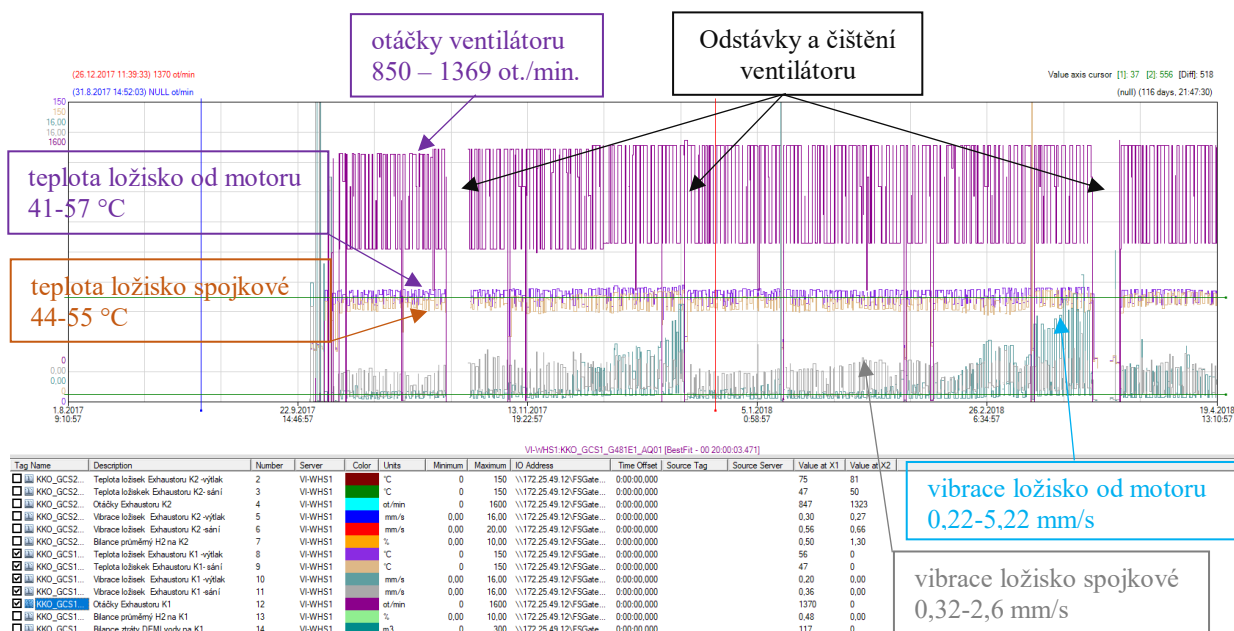
7. Porovnání aktuálních stavů jednotlivých uložení

Aktuální stavy provozních hodin jednotlivých ventilátorů k 18.4.2018:

- ventilátor K1 (kluzné uložení) 4 570 provozních hodin
- ventilátor K2 (valivé uložení) 12 431 provozních hodin

7.1. Posouzení aktuálního stavu kluzného uložení ventilátoru K1

Z výsledků provedených rozborů vzorků oleje dle kap. 4.2 (tab. 13) nevyplývají žádné skutečnosti, které by signalizovali možný vznik poškození uložení. Z následného posouzení aktuálního stavu uložení dle historicky trendovaných dat (otáčky ventilátoru, teplota a vibrace ložisek) (obr. 21) rovněž nevyplývají žádné možné poškození. Z trendu je jen patrný gradient zanesení oběžného kola rotoru v návaznosti na stoupající vibrace ložisek.

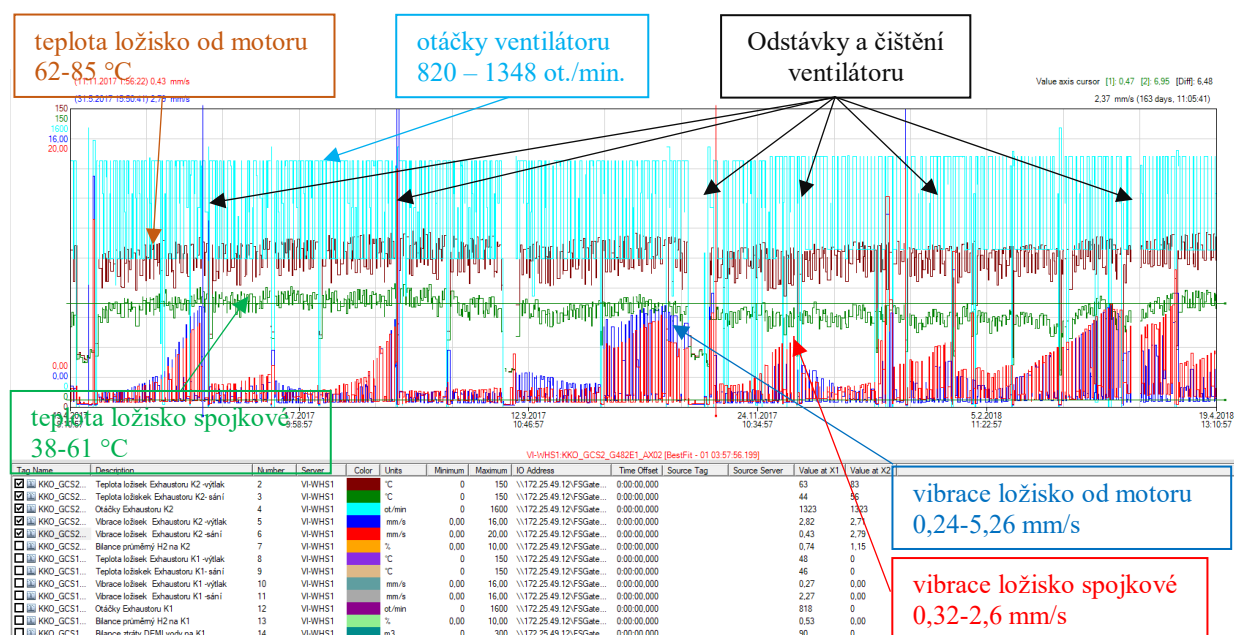


Obr.21 Historický trend ventilátor K1 v období 22.9.2017-19.4.2018

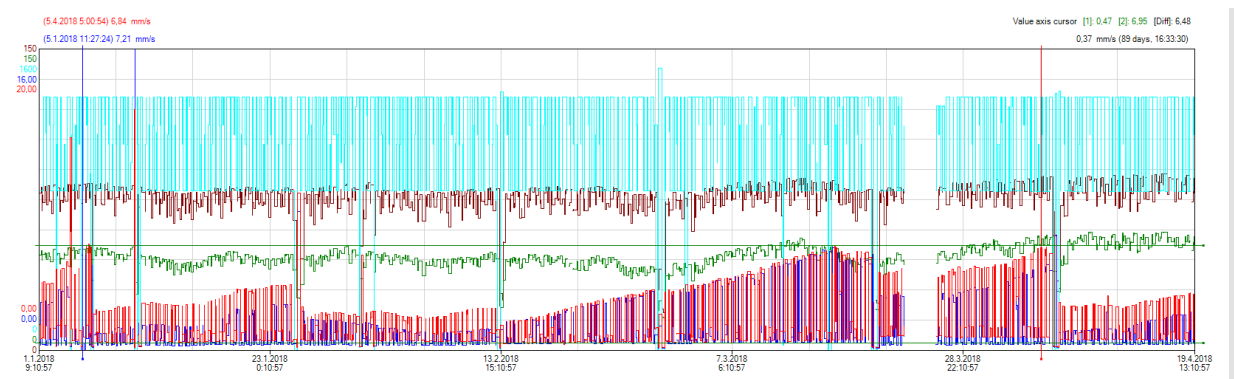
7.2. Posouzení aktuálního stavu valivého uložení ventilátoru K2

Z výsledků provedených rozborů vzorků oleje dle kap. 4.2 (tab. 12 a tab. 15.) vyplývají vzrůstající tendence hodnoty kódu čistoty a dále vyšší obsah železa hlavně u koncového ložiska což nasvědčuje možnému opotřebení ložisek v návaznosti na aktuální provozní hodiny ventilátoru.

Z následného posouzení aktuálního stavu uložení dle historicky trendovaných dat (otáčky ventilátoru, teplota a vibrace ložisek) (obr. 22 až 24) nevyplývají žádné skutečnosti, které by signalizovali možný vznik poškození uložení. Z trendu je opět jen patrný gradient zanesení oběžného kola rotoru v návaznosti na stoupající vibrace ložisek.

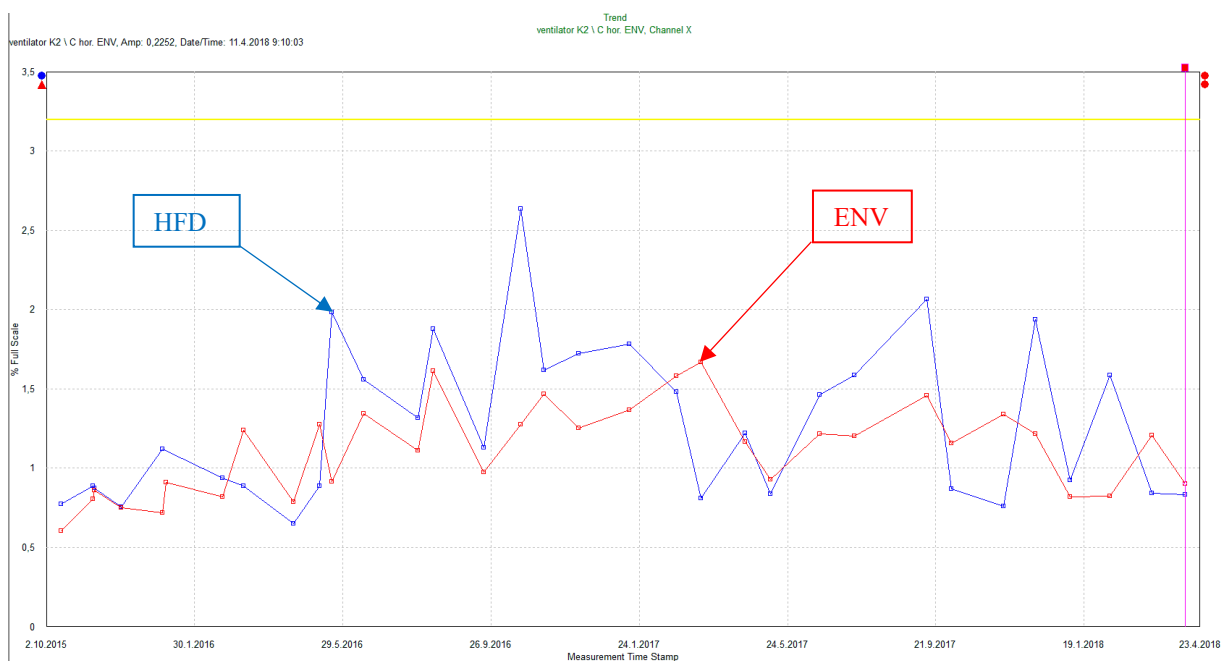


Obr.22 Historický trend ventilátor K2 v období 19.4.2017-19.4.2018

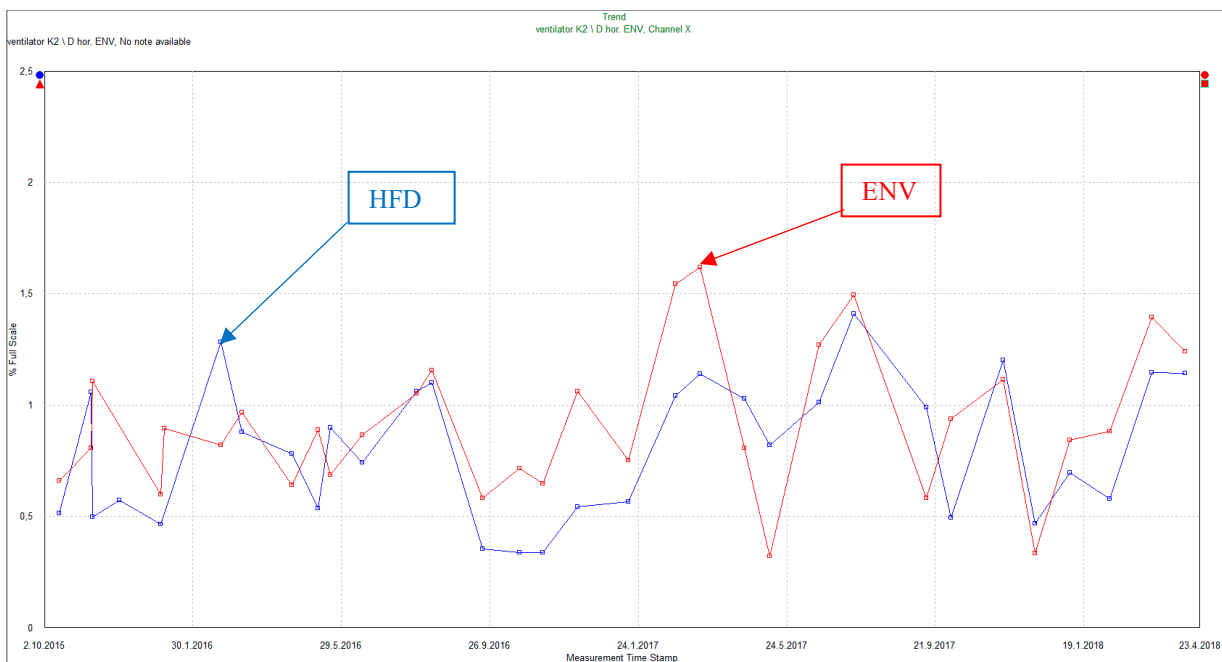


Obr.23 Historický trend ventilátor K2 v období 1.1.-19.4.2018

V rámci periodického měření vibrací je dále pracovníky vibrodiagnostiky prováděno měření a vyhodnocení HFD dle SKF (vysokofrekvenční detekce) a ENV (obálka zrychlení gE), kde se ve vysokofrekvenčním signálu objevují rázové opakující se děje indikující poškození ložisek. Na jejich velikost má kromě samotného stavu ložiska také vliv mazání tzn. tloušťka mazacího filmu na oběžných drahách. Nezanedbatelný vliv mají rovněž provozní otáčky. Zjištěné hodnoty nenaznačují možné poškození ložisek (obr. 24 a obr. 25).



*Obr.24 Porovnání trendových grafů hodnot HFD a ENV na ložisku od motoru v období
14.10.2015 - 11.4.2018*



*Obr.25 Porovnání trendových grafů hodnot HFD a ENV na spojkovém ložisku v období
14.10.2015 - 11.4.2018*

7.3. Zhodnocení a porovnání aktuálních stavů

Zhodnocení a porovnání aktuálních stavů jednotlivých typů uložení je velice složité, a to hlavně z důvodu velmi rozdílné doby provozování jednotlivých ventilátorů. Ventilátor plynočistírny K1 včetně uložení je v provozu 4 570 provozních hodin což je velmi krátká doba pro jeho posouzení. V momentální době nejsou známy životnosti jednotlivých uložení na posuzovaných ventilátorech. Po posouzení všech získaných podkladů z historických trendů provozování, provedených diagnostických měření a rozborů nevyplývá podstatný rozdíl v momentálním stavu uložení v návaznosti na provozní hodiny. Existují jisté výhody u valivých ložisek, a to z pohledu jednoduššího systému mazání, finanční náročnosti na pořízení a dále možnosti použití diagnostiky HFD (vysokofrekvenční detekce) pro odhalení možného poškození. Hlavní výhodou kluzných ložisek je časová a v případě poruchy i finanční náročnost (včetně ztráty ve výrobě) na provedení výměny uložení.

8. Závěr

Z pohledu provozní spolehlivosti lze konstatovat, že posuzované typy uložení rotoru ventilátoru jsou srovnatelné. Důležitou podmínkou ovlivňující spolehlivost zařízení je dodržování předepsaných provozních i údržbářských předpisů (limitní provozní hodnoty, revize, výměny olejů ...) včetně využití všech výše uvedených diagnostických metod v pravidelných intervalech. V návaznosti na správné vyhodnocení získaných informací lze včas odhalit vznikající poškození ložisek. Z pohledu optimálního řešení uložení rotoru ventilátoru je výhodnější kluzné uložení v návaznosti na podstatně menší časovou i montážní náročnost při jejich výměně, a to hlavně při neplánované odstávce zařízení (porucha), kde vzniká podstatný finanční rozdíl. Sjednocení typu uložení rotoru obou ventilátorů zajistí vyšší provozní spolehlivost zařízení z pohledu diagnostických i údržbářských činností. Metody popisované v kapitole 4. včetně dodatečně doplněných dle kapitoly 4.2 se jeví jako dostatečné pro monitorování a diagnostiku technického stavu uložení rotoru ventilátorů a včasné odhalení vznikajícího poškození ložisek rotoru ventilátoru.

9. Použitá literatura

- [1] HELEBRANT, F.–ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II-Vibrodiagnostika*, VŠB-TUO, Ostrava 2004, 1.vydání, 178s, ISBN 80-248-0650-9.
- [2] BLATA, J.–JURASZEK, J.: *Metody technické diagnostiky teorie a praxe*, VŠB-TUO, Ostrava 2013, 1.vydání, 133s, Albra, Úvaly, 2011, ISBN 978-80-248-2997-5.
- [3] LEINVEBER, J.–VÁVRA, P.: *STROJNICKÉ TABULKY–Pomocná učebnice pro školy technického zaměření–Páté upravené vydání*, Albra, Úvaly, 2011, ISBN 978-80-7361-081-4.
- [4] ČSN EN ISO 13349 *Ventilátory – Terminologie a kategorizace*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 43s.
- [5] SKF CZ, a.s. [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z:
<http://www.skf.com/cz/index.html>
- [6] ZOLLERN [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z:
https://www.zollern.com/fileadmin/Upload_Konzernseite/Downloads/Brochueren/Plain_Bearings/ZOLLERN-Broschuere_ZR_WEB.pdf
- [7] HFB [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z:
http://www.hfb-waelzlager.de/media/Produkte_Kat_2/GOF_2.pdf
- [8] PASZEK, L.-SAMIEC, K.: *Zpráva o výsledku měření chvění a stavu ložisek – č.558*, 3.12.2015, 5s.
- [9] KÖNIG, E.: *Zpráva o výsledku měření vibrací přenášených z exhaustoru plynočistírny na ocelové konstrukce a další technické uzly č.517/2016*, 11.11.2016, 5s.
- [10] ČSN ISO 281 *Valivá ložiska - Dynamická únosnost a trvanlivost*. Praha: Český normalizační institut, 2008. 49s.
- [11] FS_SME_05_003 verze: G *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce*.
- [12] ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32s.
- [13] KLAMPFERER A., *Erection documentation for proces and plant documentation for overal project managment for the LD converter primary wet-type dedusting 1, C.EDN0.EW1.0.00-G/MON900 Rev: 03*, 29.9.2017, 36s.
- [14] KÖNIG, E.-KIEDROŇ, VL.: *Zpráva o výsledku měření chvění a stavu ložisek - č.116*, 16.3.2018, 1s.
- [15] LIBERDA, J.-KÖNIG, E.: *Protokoly rozboru oleje z ložisek ventilátoru KKO K2*, 3.11.2017, 15.12.2017, 23.1.2018 a 20.3.2018, 4s.
- [16] LIBERDA, J.-KÖNIG, E.: *Protokoly rozboru oleje z ložisek ventilátoru KKO K1*, 21.2.2018 a 21.3.2018, 2s.

[17] SKF: *Hlavní katalog 6000 CS*, leden 2007, 1130s.

10. Seznam příloh

- CD nosič:
Jurczek_Milos_Navrh_reseni_ulozeni_rotoru_radialniho_ventilatoru_plynocistirny_z_pohledu_provozni_spolehlivosti_BP
- Technická zpráva tribodiagnostického měření JUR0257-Bc.-9.5.2018
- Protokol rozboru vzorku oleje-koncové ložisko 15.12.2017-JUR0257
- Protokol rozboru vzorku oleje-koncové ložisko 23.1.2018-JUR0257
- Protokol rozboru vzorku oleje-ložisko od motoru 15.12.2017-JUR0257
- Protokol rozboru vzorku oleje-ložisko od motoru 23.1.2018-JUR0257